

Resum

El present projecte té com a objectiu fonamental i/o prioritari convertir les diferents cobertes dels diferents immobles en sòl industrial en elements actius de captació i transformació de l'energia fotovoltaica per a poder injectar, posteriorment, aquesta a la xarxa de baixa tensió.

Si bé l'abast del projecte es centra fonamentalment en els diferents polígons industrials o Àrees d'Activitat Econòmica del municipi de Rubí (un total de deu), el model es perfectament vàlid per a qualsevol municipi amb major o menor superfície útil disponible.

Entre les diferents tecnologies existents pel que fa a captació d'energia fotovoltaica, s'ha optat per la tecnologia de capa fina i/o lones fotovoltaiques en base a la qual es desenvolupa la solució tècnica global i es duen a terme els diferents estudis energètic, econòmic i mediambiental.

El sistema solució global ve conformat per quatre tipus de instal·lacions fotovoltaiques diferents (100, 50, 30 i 10 kW) de forma que s'opta per una o altra en funció de la superfície en coberta disponible; sempre donant major prioritat a les instal·lacions de major potència instal·lada.

El resultat obtingut, a nivell de producció energètica anual, en considerar un total de 309 instal·lacions de 100 kW, 104 instal·lacions de 50 kW, 52 instal·lacions de 30 kW i 56 instal·lacions de 10 kW ha estat de 51.586 MWh. I el impacte ambiental que aquest valor suposa a nivell d'emissions anuals de gasos d'efecte hivernacle es: 12.741,81 t de CO₂, 27.547,07 kg de SO₂ i 19.344,85 kg de NO₂.

Si bé el grau de magnitud a nivell de generació energètica i reducció d'emissions global es part important de l'abast del projecte, com també ho és l'estudi que garanteix la viabilitat econòmica d'aquest, hi ha altres temes que també tractem i mereixen ser destacats. Entre aquests hi ha la presentació de l'energia fotovoltaica com a font d'energia renovable, la descripció dels elements i subsistemes que conformen una planta solar fotovoltaica, el treball d'anàlisi de la informació envers a l'àrea geogràfica sotmesa a estudi així com també s'exposa quina ha estat l'evolució del procés legislatiu fins a l'actualitat i les perspectives de canvi en el futur immediat.





Sumari

RESUM	1
SUMARI	3
1. GLOSSARI	5
2. PREFACI	6
2.1. Origen del projecte	6
2.2. Motivació	6
3. INTRODUCCIÓ	8
3.1. Objectiu del projecte	8
3.2. Abast del projecte	8
3.3. Principals avantatges del sistema solució considerat.....	9
3.4. Definició del concepte d'Anell Solar Fotovoltaic	10
4. INTRODUCCIÓ A LA ENERGIA FOTOVOLTAICA.	11
4.1. Introducció.....	11
4.2. Aplicacions principals.....	12
4.3. Motius i avantatges d'utilitzar l'Energia Fotovoltaica	13
4.3.1 Motius	13
4.3.2 Avantatges.....	14
4.4. Funcionament d'una planta fotovoltaica	14
4.4.1 Principi de funcionament de la tecnologia fotovoltaica.	14
4.4.2 Subsistemes i components que conformen un sistema fotovoltaic	18
4.5. Situació de la fotovoltaica en el marc legal vigent.....	26
5. ANÀLISI DE LA INFORMACIÓ EN L'ÀMBIT D'ACTUACIÓ	29
5.1. Introducció.....	29
5.2. Principals motius d'elecció del municipi.....	30
5.3. Àmbit d'actuació sobre el que es fonamenta l'estudi	31
6. SISTEMA FOTOVOLTAIC SOLUCIÓ CONSIDERAT	33
6.1. Introducció.....	33
6.2. Consideracions prèvies de disseny i potència total instal·lada.	33
6.3. Presentació dels principals components del sistema	36
6.3.1. Laminats fotovoltaics i substrat	36
6.3.2. Inversor	38
6.3.3. Caixes de proteccions en CC	39



6.3.4. Quadre de proteccions en AC	39
6.3.5. Armari de mesura	40
7. DISSENY DE LES INSTAL·LACIONS	41
7.1. Sistema de generació i adaptació a xarxa de BT	41
7.2. Cablejat.....	45
7.3. Cablejat de protecció.....	53
7.4. Proteccions.....	54
7.5. Planificació de implementació de les instal·lacions	66
8. ESTUDI ENERGÈTIC	69
8.1. Càlcul de pèrdues.....	69
8.2. Energia produïda	75
9. ESTUDI ECONÒMIC	77
9.1. Introducció	77
9.2. Dades econòmiques i finançament.....	77
9.3. Ingressos, despeses i compte de resultats	78
9.3.1. Ingressos.....	78
9.3.2. Despeses	80
9.3.3. Compte de resultats.....	80
9.4. Rendibilitat del projecte	81
9.4.1 Valor actual net i taxa interna de retorn.....	81
9.4.2 Pay-back	82
10. ESTUDI MEDIAMBIENTAL	83
10.1. Reducció emissions gasos.....	84
CONCLUSIONS	87
AGRAÏMENTS	88
BIBLIOGRAFIA	89
Referències bibliogràfiques.....	89



1. Glossari

Azimut: Angle de desviació respecte a la coordenada sud.

CA: Corrent alterna

CC: Corrent continua

CEM: Condicions estàndard de mesura.

η (eficiència): Relació entre la potència màxima que el mòdul fotovoltaic pot entregar i la potència de la radiació solar incident.

Elevació: Angle d'inclinació respecte al pla horitzontal.

FC: Fluxe de caixa, també conegut com a Cash-Flow

FF: Factor de forma

IDAE: Institut per a la Diversificació i Estalvi de l'Energia.

I_{mpp} : Intensitat en el punt de màxima potència en la corba V - I

IPC: Índex dels preus al consum. Valor estretament relacionat amb la inflació.

I_{sc} : Intensitat de curtcircuit

kWh_E: Kilovat hora elèctric

PIB: Producte interior brut

PR - PB: Període de retorn, també conegut com a Pay-Back

PR: Performance Ratio; indica la suma total de pèrdues que té una instal·lació fotovoltaica.

REBT: Reglament electrotècnic de baixa tensió

TIR: Tassa interna de rendibilitat

VAN: Valor actual net.

V_{mpp} : Tensió en el punt de màxima potència en la corba V - I

V_{oc} : Tensió en circuit obert



2. Prefaci

L'actual situació energètica mundial on les principals fonts d'energia primària encara provenen majoritàriament de combustibles fòssils i la pròpia necessitat / obligatorietat per reinvertir la situació en qüestió, son els principals aspectes que han motivat el projecte en qüestió.

La recerca de mesures de pes que influeixin en un canvi d'efecte important respecte l'actual escenari energètic poc sostenible, son imprescindibles; si bé l'estudi objecte del projecte no el podem considerar senzill a l'hora de executar-lo a nivell de projecte en un termini curt de temps, aquest té com a principal objectiu fer notar el impacte que aquest suposaria a mitjana i gran escala (quantitat d'energia elèctrica produïda, reducció d'emissions de gasos d'efecte hivernacle, pes que adquiririen les energies renovables respecte a la resta d'energies primàries, etc.).

Donades les particularitats intrínseques de la mateixa energia fotovoltaica, la qual requereix una gran superfície de captació per a assolir valors considerables d'energia elèctrica, s'ha pensat en convertir les cobertes de naus industrials en elements actius de generació energètica atenent que aquestes ofereixen un potencial interessant pel que fa a superfície de captació.

2.1. Origen del projecte

Atenent a la necessitat de cercar noves formes de generar energia elèctrica d'una forma més sostenible a l'actual i a la gran superfície en sol industrial disponible en un municipi com Rubí on els polígons estan pràcticament desenvolupats i son majoritàriament madurs, s'origina i es valora la possibilitat d'augmentar el valor intrínsec d'aquests en base a la implantació de serveis avançats, innovadors, efectius i rendibles com son les cobertes solars.

2.2. Motivació

Donat l'alt pes específic que a dia d'avui té la comarca del Vallès Occidental a Catalunya pel que fa als sectors industrial i de serveis i amb el interès per part de molts ajuntaments de la comarca per seguir promovent idees innovadores que els permeti aglutinar l'atenció de noves inversions, un estudi com el proposat s'ajusta bé al interès indicat per un municipi com Rubí, el qual disposa d'una superfície de sòl industrial notable.

A nivell energètic, la Terra intercepta 1,5 trilions de MWh/any d'energia solar, una quantitat equivalent a unes 28.000 vegades el total del consum energètic de la humanitat. Encara que aquesta energia es presenta desigualmente repartida per tota la superfície del planeta, la Península Ibèrica es troba en una situació privilegiada en quant a recepció energètica



solar. La península ibèrica té els valors més alts d'insolació de tota la CE: entre un màxim de 1.750 i un mínim de 1.250 kWh per metre quadrat i any, amb un promig de entre 1.750 i 1.500 kWh, per a més de la meitat del territori, el que suposa valors mitjans de 4,5 kWh per metre quadrat i dia.

Com que Catalunya es troba a la conca de la Mediterrània, cada dia el Sol ens proporciona uns 120.000 GWh d'energia, amb una variació del 10% segons l'època de l'any i l'orientació en que ens trobem. Poder arribar a fer bon ús d'aquesta energia, la qual tenim a disposició de forma gratuïta tots els dies, es un aspecte important que ha motivat l'elaboració d'aquest projecte.



3. Introducció

3.1. Objectiu del projecte

El projecte en qüestió té com a principal objectiu calcular la capacitat de generació d'energia elèctrica que poden arribar a oferir els diferents polígons industrials o àrees d'activitat econòmica tot utilitzant l'energia fotovoltaica com a font d'energia primària i les diferents cobertes dels propis immobles que els conformen com a superfície de captació. La tecnologia fotovoltaica utilitzada per a la captació es la lona fotovoltaica o tecnologia de capa fina.

Donat que es pretén donar magnitud al projecte es considera el mateix com un conjunt de instal·lacions inter-relacionades en alguns casos, amb l'objectiu d'assolir nivells de superfície significatius i, en altres independents donat que ja compten amb nivells notables de superfície de captació; tots ells sumen i/o conformen l'escenari perfecte per al desenvolupament a mig - gran escala d'una instal·lació fotovoltaica de gran magnitud que també podem conèixer amb el nom d'Anell Solar Rubinenc.

Traduir la magnitud del propi projecte en valors concrets d'energia i superfície i poder comparar aquests amb el que suposa actualment generar l'energia elèctrica a nivell d'emissions de gasos d'efecte hivernacle o, inclús, altres alternatives renovables, es també objectiu del present estudi.

En aquest s'estudiarà la viabilitat dels diferents tipus de instal·lacions considerades des del punt de vista, tècnic, mediambiental i econòmic entre altres.

3.2. Abast del projecte

El present estudi / projecte es centra física i geogràficament sobre la ciutat de Rubí i, més en concret, sobre la totalitat de sòl industrial distribuït al llarg del municipi en qüestió.

En el projecte s'analitzaran aspectes com els que indiquem a continuació:

- Introducció de Rubí com a ciutat amb gran història industrial i amb una gran superfície disponible i/o imputable pel que fa a superfície de captació d'energia fotovoltaica.
- Treball de camp que, a partir de la referència cadastral dels diferents immobles industrials, ens permetrà conèixer la magnitud de la superfície de captació i posterior nombre de instal·lacions de diferents modalitats.
- Funcionament de la tecnologia fotovoltaica considerada com a sistema solució.
- Viabilitat tècnica i econòmica que garanteixi una implantació generalitzada sobre la totalitat de cobertes industrials efectiva i rentable.



- Consideracions mediambientals que avalin l'aposta per aquest tipus d'instal·lacions amb l'objectiu d'assolir un marc energètic molt més sostenible que l'actual.
- Comparativa del que suposa la generació d'energia elèctrica partint de diferents tipus de font d'energia primària.
- Presentació de l'evolució del marc legislatiu i perspectives de futur.

3.3. Principals avantatges del sistema solució considerat.

A la vegada que la superfície en sòl es un factor limitat arreu i amb un valor econòmic notable (cost elevat), altres aspectes mediambientals i estètics també han provocat la necessitat de cercar alternatives en vers al propi camp d'aplicació d'aquesta tecnologia.

Es per aquest motiu que la utilització de les diferents cobertes com a superfície de captació es una alternativa molt recomanable a la vegada que rentable i eficient. A continuació s'indiquen les principals avantatges que ofereixen aquests tipus d'instal·lacions:

- Permet a l'inversor i/o propietari de la nau industrial obtenir uns ingressos garantits per llei a més a més d'un interessant complement de la seva pròpia activitat principal.
- Permet realitzar una inversió que assegura un flux de capital constant amb unes despeses de manteniment insignificants.
- Es fa un ús eficient de l'espai donat que no es necessita invertir en un terreny nou, sinó que s'aprofita un existent i normalment en desús, com es la coberta d'una nau industrial.
- El benefici obtingut amb el recurs solar no obstaculitza, en absolut, el procés quotidià del seu negoci.
- En base al punt anterior, es permet convertir la coberta d'una nau industrial (element totalment passiu) en una rentable planta de producció d'electricitat partint d'una font d'energia renovable i sostenible.
- Es redueix el impacte visual de les xarxes de transport d'energia. No s'empren línees de distribució ni subestacions per a la seva connexió a la xarxa elèctrica. No hi ha pèrdues d'energia degut al transport a la vegada que tampoc en l'elevació i disminució de potència.
- Major garantia de seguretat front a certs sinistres com actes vandàlics i robaments per la pròpia situació física dels elements que constitueixen la instal·lació. Es tracta d'un entorn molt més vigilat (independentment de les mesures de vigilància addicionals que s'adoptin).



- Es permet diversificar els riscos del negoci principal de les indústries, sigui quina sigui la seva ocupació principal. S'aconsegueix així una major eficiència dels edificis industrials ja construïts, optimitzant l'espai disponible.
- Amb aquest tipus de cobertes que incorporen lones fotovoltaiques, es proporciona un aïllament tèrmic addicional a l'edifici. Gràcies a aquest s'aconsegueix en el interior de la nau un descens significatiu de la temperatura a l'estiu i el conseqüent estalvi energètic a nivell de climatització.
- La connexió a la xarxa elèctrica es més senzilla i econòmica doncs permet la utilització, en part, de la majoria de transformadors ja existents en el polígon o àrea d'activitat econòmica, evitant dificultoses escomeses de connexió.
- El impacte visual es nul si considerem que la majoria de cobertes ja estan malmeses o degradades estèticament.
- Aporta un alt grau de modernitat a la vegada que fa entreveure la consciència i/o interès que el propietari i la seva empresa té envers el medi ambient.
- La tramitació s'agilitza en el cas d'instal·lacions sobre cobertes industrials respecte a les instal·lacions d'horts fotovoltaiques.

3.4. Definició del concepte d'Anell Solar Fotovoltaic

El fet de generar l'energia elèctrica a prop del propi punt de consum es certament un factor de pes a l'hora d'apostar per una font d'energia primària com la que es considera en el present projecte.

Per altra banda, la majoria de polígons industrials o àrees d'activitat econòmica acostumen a consumir quantitats importants d'energia elèctrica a l'hora de desenvolupar les seves corresponents activitats.

Si tenim en compte ambdós factors indicats i li afegim la possibilitat d'extreure un partit més profitós a les pròpies cobertes (actualment emprades en afers més passius) i convertir aquestes en elements actius de generació energètica amb valors notables d'energia generada, necessitem crear un entramat de petites mitjanes instal·lacions interrelacionades que bé podríem conèixer i/o anomenar com a anell solar.



4. Introducció a la energia fotovoltaica.

4.1. Introducció

El interès per l'aprofitament de l'energia solar neix arrel de dues qüestions fonamentals: *font inesgotable i gratuïta* a disposició de gran part del planeta en unes condicions notables/aptes (actualment la quantitat d'energia que el sol irradia cap a la terra es al voltant de deu mil vegades superior a la que es consumeix en un dia al planeta) i *l'existent i creixent necessitat d'electricitat* arreu del planeta; a la vegada la consciència per a cercar nous models de generació energètica que siguin respectuosos amb el medi ambient ha anat paral·lelament en creixement en els darrers anys.

Com bé indiquem, l'energia solar es un recurs quasi universal, inclús més abundant en zones especialment pobres com es el cas del continent Africà (ho podem veure a continuació a la Fig.4.1). De fet l'energia solar es pot aprofitar, inclús, en zones amb poca o menor radiació solar, com es el cas d'Alemanya, líder mundial en quan a potència instal·lada arreu del seu territori.

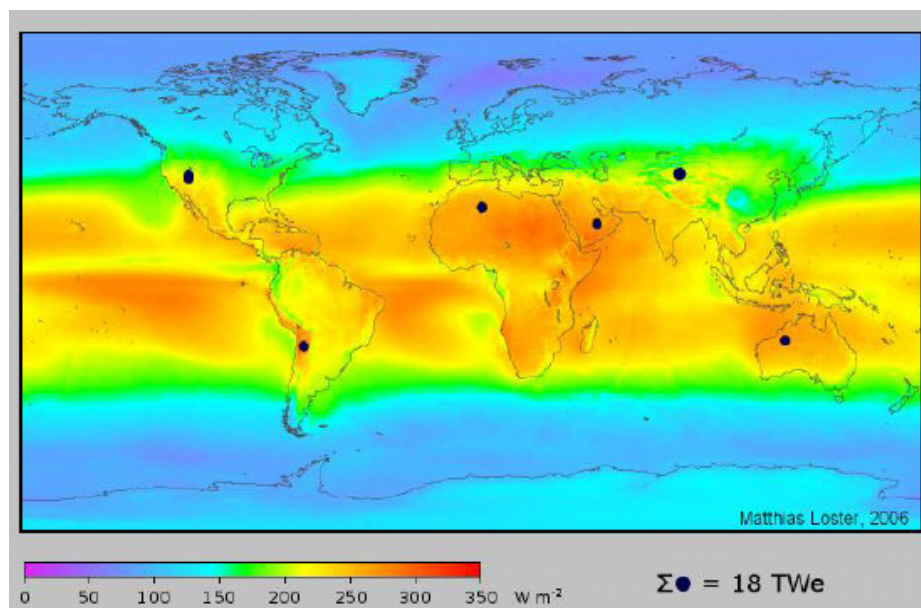


Fig. 4.1: Distribució de la radiació solar en el planeta.

El principi de funcionament de les instal·lacions fotovoltaïques està basat en l'efecte fotoelèctric mitjançant el qual es transforma de forma directa l'energia radiant del Sol en energia elèctrica. Aquest procés de transformació es produeix en el element semiconductor que s'anomena cel·la fotovoltaica. En el moment en que la llum del sol incideix sobre aquesta, els fotons de la llum solar transmeten la seva energia als electrons del semiconductor per a que així puguin circular dins del sòlid. La tecnologia fotovoltaica



aconsegueix que part d'aquests electrons surtin a l'exterior del material semiconductor generant, d'aquesta forma, una corrent elèctrica capaç de circular per un circuit extern.

4.2. Aplicacions principals

L'Energia fotovoltaica es considera en l'actualitat en un ampli ventall d'aplicacions on es necessita generar energia elèctrica, ja sigui per a satisfer necessitats energètiques d'aquells que no disposen d'accés a la xarxa elèctrica (sistemes fotovoltaics autònoms) o bé per a generar energia elèctrica a la pròpia xarxa (sistemes connectats a xarxa). L'energia solar fotovoltaica contribueix al desenvolupament de zones rurals aïllades (electrificació rural) però també s'utilitza en aplicacions tecnològicament més complexes com el subministrament energètic als repetidors de telefonia mòbil. A continuació, s'indiquen les aplicacions més rellevants:

Connexió a la xarxa de distribució.

Aquest es el model que es persegueix actualment en la generació y distribució d'energia elèctrica tot partint de l'energia solar fotovoltaica com a energia primària i renovable. La idea bàsica es produir a prop del punt on està previst el consum de pròpia energia generada de manera que es minimitzin les pèrdues pel transport (pèrdues degudes a la pròpia resistivitat del cablejat, caigudes de tensió, etc.).

Connexió a la xarxa centralitzada.

En aquest cas es tracta de grans horts solars que aboquen la seva producció a la xarxa de mitja i/o alta tensió, tal i com succeeix amb la resta de centrals de generació tradicionals.

Domèstiques sense accés a xarxa.

Partint de la dada que més de 1.900 milions de persones viuen a dia d'avui sense accés a xarxa elèctrica al món, es evident que aquesta es una aplicació a tindre en compte si es vol abastir a mig, llarg termini a gran part d'aquesta població que no gaudeix d'electricitat per a poder dur a terme les necessitats més elementals i bàsiques.

No domèstiques sense accés a xarxa.

Aquesta fa referència a aplicacions puntuals que requereixen d'electricitat per a funcionar durant un llarg període de temps però que no disposen d'accés a la xarxa elèctrica. Un bon exemple d'aquesta aplicació son les estacions meteorològiques.

Una característica fonamental i elemental dels propis generadors fotovoltaics que els diferencia d'altres fonts d'energia renovables es que només produeixen electricitat quan la incidència de la pròpia irradiància solar sobre la superfície de captació es produeix en els paràmetres adients i/o necessaris. Afegir que la quantitat d'energia que es genera es directament proporcional a la pròpia irradiància incidida sobre la superfície de captació al llarg del temps.



Resulta evident indicar que en nombroses aplicacions el consum energètic es produeix independentment de la pròpia radiació solar o irradiància o, inclús en alguns casos, de forma inversament proporcional, com es en els casos de la majoria de sistemes d'enllumenat.

En aquest tipus d'aplicacions es necessari incloure un sistema d'emmagatzematge energètic o d'acumulació, normalment bateries. En altres aplicacions, com es el cas de bombeig d'aigua o altres sistemes connectats a xarxa, aquestes no son necessàries doncs l'energia s'acumula en forma d'energia hidràulica o altres formes d'energia.

4.3. Motius i avantatges d'utilitzar l'Energia Fotovoltaica

4.3.1 Motius

En l'actualitat, el model de desenvolupament econòmic actual, basat en el ús intensiu de recursos energètics d'origen fòssil, provoca impactes mediambientals negatius i desequilibris socioeconòmics que obliguen a definir un nou model de desenvolupament sostenible.

El concepte de desenvolupament sostenible té per objectiu satisfer les necessitats del present sense comprometre la capacitat de les futures generacions per a satisfer les seves pròpies. En definitiva el desenvolupament sostenible ha de vetllar per garantir tres objectius principals de manera simultània:

1. Creixement econòmic
2. Progrés social
3. Ús racional dels recursos

Sembla impensable pensar en un món futur amb dificultats per mantenir el subministrament elèctric arreu tenint en compte la dependència que en tenim d'aquest en l'actualitat. La visió de cara al futur es que tots els països que estan encara per desenvolupar arribin a un estatus similar o de mínims en relació als desenvolupats amb la utilització dels recursos disponibles en el seu entorn i també que els països desenvolupats controlin d'alguna manera la forma de gestionar els recursos en qüestió per a que altres puguin fer ús en el futur.

Es evident que el nivell de consum actual dels països desenvolupats no permet assegurar l'abastiment futur d'energia com tampoc facilita l'accés a l'energia dels països en desenvolupament. Davant de la necessitat de garantir la sostenibilitat del model energètic, les polítiques de foment de les energies renovables esdevenen essencials.

En base al context al que fem referència, l'energia fotovoltaica té i, ha de seguir tenint, un paper molt important en la transformació de l'actual model de desenvolupament per un nou



model molt més sostenible. Però per a que pugui ser una realitat es imprescindible un recolzament ferm i estable de les institucions pertinents.

4.3.2 Avantatges

Tot i que es cert que la fabricació de les cèl·lules fotovoltaïques implica l'ús d'elements altament tòxics, si es considera el cicle de vida de la tecnologia (des de la extracció de la matèria prima fins al final de la vida útil), el impacte mediambiental es incomparablement inferior que el de les tecnologies basades en combustibles fòssils o nuclears. A més presenta avantatges addicionals no només en l'aspecte mediambiental si no també a nivell estratègic (disminueix la dependència energètica i econòmica exterior). El fet de produir electricitat a partir del sol té un pes molt important en la reducció del grau de dependència dels diferents estats respecte a les inestables zones del planeta d'on provenen les principals matèries primeres a nivell energètic (petroli, gas, urani, etc., avui en mans de països com Aràbia Saudí, Líbia, Irak, Veneçuela, Rússia, Argèlia, Líbia o Nigèria, entre d'altres). Sense dubte hi ha un motiu estratègic molt destacable que pot permetre reduir el grau d'incertesa i garantir un creixement molt més sòlid i estable d'aquells països que apostin fort per aquesta.

A part dels motius mediambientals i estratègics, també podem incloure un tercer motiu: el socioeconòmic. La pròpia tecnologia fotovoltaica en sí presenta un valor afegit destacable donat que pot arribar a comportar la generació d'un notable nombre de llocs de treball i permetre el desenvolupament de tecnologies pròpies).

Econòmicament, donat que el procés de transformació es totalment directe i natural, fa d'aquesta tecnologia una de les més rentables pel que fa al propi balanç energètic (poques pèrdues en el procés de transformació i transport). Si, al fet de poder arribar a produir energia elèctrica arreu a cost baix o molt baix (tot i considerar la inversió inicial), li sumem el fet de poder vendre la mateixa a un preu raonable i, per tant, deixar de consumir electricitat provinent de la xarxa (cost elevat), això fa que puguem considerar la pròpia tecnologia com una tecnologia rentable econòmicament a la vegada que atractiva per a tot aquell que vulgui apostar per ella.

4.4. Funcionament d'una planta fotovoltaica

4.4.1 Principi de funcionament de la tecnologia fotovoltaica.

La tecnologia fotovoltaica es fonamenta en l'efecte fotoelèctric. Quan certs materials semiconductors son exposats als raigs del sol, els electrons de la banda de valència poden ser excitats a la banda de conducció. Per a que es doni aquest fenomen, l'energia dels fotons (incidits pels raigs solars i absorbits pel material semiconductor) ha de ser igual o superior al salt energètic entre la banda de valència i la de conducció del semiconductor.



En la figura a continuació (Fig. 4.2), es pot veure com els fotons incidents absorbits aporten l'energia suficient als electrons del medi de forma que els permet escapar d'aquest, crear un camp elèctric i, en conseqüència, una corrent elèctrica continua.

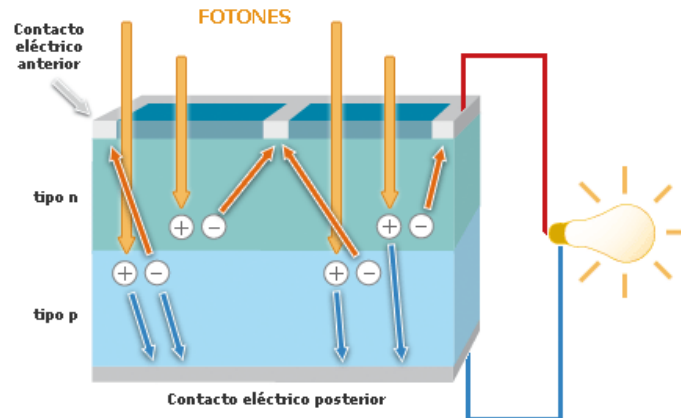


Fig. 4.2 Incidència de fotons i creació de camp elèctric

Les cèl·lules on té lloc aquest procés energètic repetitiu estan conformades per materials semiconductors, normalment silici. Els semiconductors són especialment tractats per a formar dues capes diferentment dopades: semiconductor de tipus p (on predominen els portadors de càrrega positiva), i semiconductors de tipus n (on predominen els portadors de càrrega negativa); ambdós capes conformen un camp elèctric que en el moment en que la llum del sol incideix en la cèl·lula aquest permet alliberar electrons i generar corrent continua.

Aquestes cèl·lules solars poden estar connectades entre si en sèrie ("string" o cadena) o en paral·lel, amb l'objectiu d'aconseguir el voltatge adequat per a la seva utilització. Quan les cèl·lules s'associen en sèrie, circula la mateixa corrent a través d'aquestes, i la tensió resultant es la suma dels voltatges de cada una; mentre que quan es connecten en paral·lel, pel contrari, es sumen les corrents per a cada valor de tensió.

Els diferents tipus de cèl·lules solars que existeixen en l'actualitat s'obtenen mitjançant mètodes de cristallització del silici.

En el cas del silici monocristal·lí, l'estructura atòmica del material és uniforme ja que la seva estructura completa ha sigut originada a partir d'un únic cristall. Aquesta uniformitat és ideal per a la transferència d'electrons a través del material de forma eficient, ja que la xarxa cristal·lina és la mateixa en tot el material i té molt poques imperfeccions. El procés de cristallització és complicat i costós, però és el que proporciona major eficiència en la conversió elèctrica.

En el cas del silici policristal·lí, el procés de cristallització no és tan acurat ja que està format per un conglomerat d'estructures cristal·lines on les unions de grà fan de fronteres i no es permet el pas d'electrons durant els processos de recombinació. El seu procés de



fabricació es molt més econòmic i els rendiments dels dispositius comercials s'apropen bastant als del silici monocristal·lí.

En darrer lloc cal destacar també el silici amorf. Es tracta d'un material en el que els àtoms no estan situats en cap ordre especial ja que disposen d'una estructura cristal·lina no definida que conté un gran nombre de defectes tant d'estructura com d'enllaços. Aquestes condicions resulten inacceptables per a la utilització en aquest camp, però si es disposa de tal forma que contingui una petita quantitat de hidrogen, s'aconsegueix saturar els enllaços trencats, permetent augmentar el temps de vida dels portadors. El seu coeficient d'absorció es unes 40 vegades major que el silici monocristal·lí. Aquest factor, junt amb el fet de que es pot produir a baixes temperatures i per ser disposat en substrats de baixa qualitat influeix en el baix cost de fabricació, molt més econòmic que el silici monocristal·lí o policristal·lí. Com a desavantatge s'ha de destacar la degradació en potència continuada soferta durant el temps de operació de la cèl·lula fotovoltaica.

Per a fer possible la utilització pràctica del conjunt de cèl·lules fotovoltaïques creades, aquestes es presenten associades elèctricament entre sí, encapsulades i protegides de les condicions mediambientals en un bloc anomenat panell o mòdul fotovoltaic, el qual constitueix l'element bàsic de la producció d'electricitat fotovoltaica.

La potència elèctrica final dels nostres mòduls dependrà de la seva àrea activa, del número de cèl·lules, de la interconnexió elèctrica (sèrie o paral·lel) i per descomptat de les condicions de irradiància i temperatura a les que el mòdul es trobi exposat.

Al igual que amb les cèl·lules solars individuals, els mòduls es poden connectar tant en paral·lel (sumant les corrents per a cada valor de tensió) com en sèrie (circulant la mateixa corrent a través d'ells i essent la tensió final la resultant de la suma dels voltatges de cada un). En la Fig. 4.3 podem observar ambdues formes de connexió.

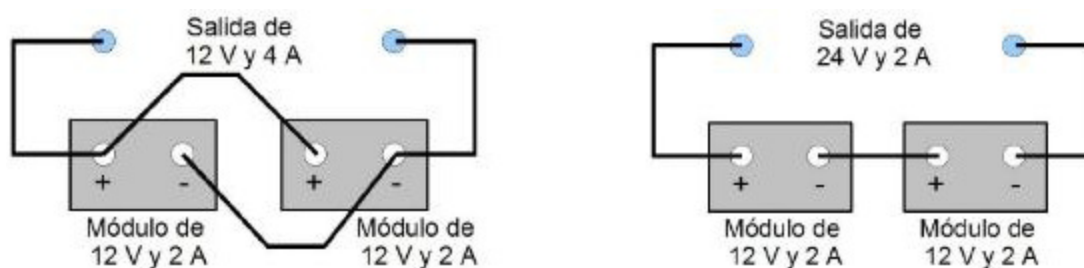


Fig. 4.3: Connexió en paral·lel (esquerra) i en sèrie (dreta) de mòduls fotovoltaics.

La potència de sortida del mòdul fotovoltaic estarà determinada per els següents quatre factors: el rendiment de les seves cèl·lules fotovoltaïques, la resistència de la càrrega (punt de treball en la corba I-V), la irradiància solar i la temperatura de les cèl·lules.

Per a poder entendre bé el funcionament, tant d'una cèl·lula com d'un mòdul solar, es defineixen els següents paràmetres de funcionament:



- Intensitat de curtcircuit, I_{SC} [A]: Es la corrent que s'obté de la cèl·lula quan, en absència de càrregues externes i un cop curtcircuitada en els seus terminals, la tensió entre bornes es nul·la. Es tracta de la màxima corrent que es pot obtenir. El valor típic sol ser de desenes de mil·liamperes ($\sim 10 - 40$ mA) per centímetre quadrat de cèl·lula.
- Tensió en circuit obert, V_{OC} [V]: Es la tensió per a la que els processos de recombinació igualen als de generació i per tant, la corrent extreta de la cèl·lula es nul·la. Es tracta de la màxima tensió que es pot obtenir de la cèl·lula, quan no hi ha connectat cap consum i la intensitat que circula es nul·la. En dispositius de silici de tipus mig es situa entorn a 0.6 V i en les de GaAs, al voltant de 1 V.
- Potència màxima o Potència Pic, P [W]: La potència que s'extreu de la cèl·lula ve donada per el producte de intensitat i tensió ($I \cdot V$). S'observa que tant en curtcircuit com en circuit obert, la potència generada es nul·la. Com s'indica en la següent figura, existeix un punt d'operació (I_P , V_P) en el qual la potència dissipada en la càrrega es màxima; aquest es conegut com el punt de màxima potència. El producte $I_P \cdot V_P$ que correspon a la màxima potència, es representa en la figura mitjançant les línies puntejades. En resum, la potència màxima o de pic, P , es la potència màxima que pot generar una cèl·lula fotovoltaica sota unes condicions estàndard de la radiació incident. Aquest valor s'obté del producte de la tensió pic i la intensitat pic: $P = I_P \times V_P$. Essent I_P i V_P els valors de intensitat i tensió per als quals la potència subministrada per la cèl·lula aconsegueix el valor màxim possible, en unes condicions normalitzades.

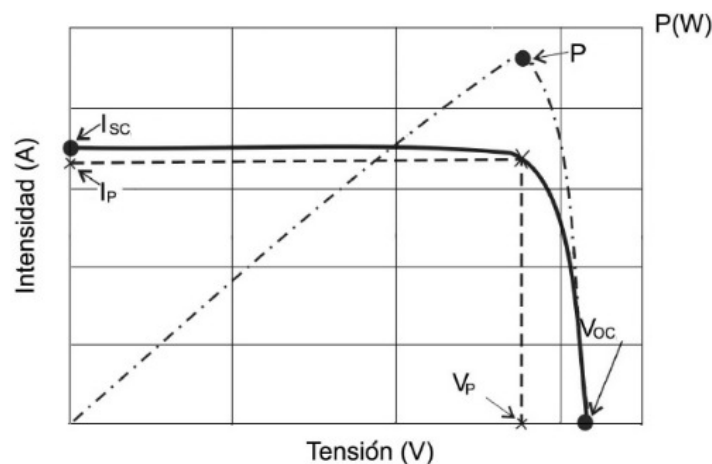


Fig. 4.4: Corba característica V-I de una cèl·lula solar

Al llarg del projecte es podrà veure que per a fer referència a valors de dimensionament i energia utilitzarem els següents paràmetres:



- Hora solar pic: Es defineix com la quantitat d'hores de sol amb una intensitat de radiació de 1000 W/m^2 , que incideix sobre la superfície del mòdul solar.
- Watt pic [W_p]: Es defineix com la màxima potència que pot rebre un mòdul fotovoltaic i coincideix amb una intensitat de radiació constant de 1000 W/m^2 o 100 mW/cm^2 a una temperatura de 25°C .

4.4.2 Subsistemes i components que conformen un sistema fotovoltaic

En el cas de les instal·lacions fotovoltaïques connectades a xarxa de distribució, la totalitat de l'energia elèctrica que consumeix la instal·lació elèctrica de la indústria en la que es troba instal·lada la mateixa es subministra des de la xarxa elèctrica; de manera que no hi ha correspondència directe entre la potència i l'energia de la instal·lació fotovoltaica i de la indústria. D'altra banda, la totalitat de l'energia elèctrica produïda per la instal·lació fotovoltaica s'aboca a la xarxa de distribució.

Aquest tipus de instal·lacions fotovoltaïques estan conformades per els següents subsistemes:

1. Subsistema de captació de l'energia.
2. Subsistema d'adaptació del subministrament elèctric.
3. Subsistema de transport de l'energia.
4. Subsistema de mesura i protecció.

A continuació es mostra un esquema unifilar típic (Fig. 4.5) d'una instal·lació fotovoltaica connectada a la xarxa de baixa tensió, en el qual es poden observar els diferents subsistemes que la conformen:

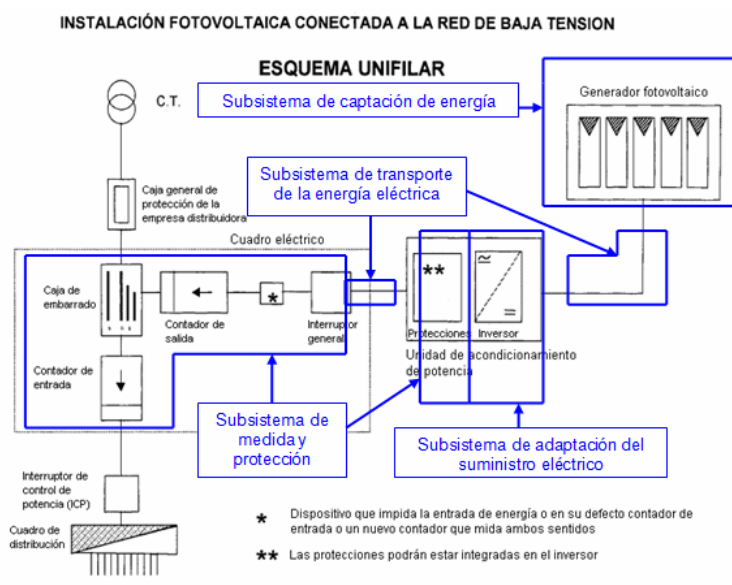


Fig. 4.5 Esquema unifilar d'una instal·lació fotovoltaica connectada a xarxa BT.



1. Subsistema de captació de l'energia:

Aquest subsistema es troba conformat pel conjunt de mòduls fotovoltaics connectats convenientment entre sí (sèrie / paral·lel) i son els encarregats de captar l'energia provinent del sol i transforma-la, directament, en energia elèctrica en forma de tensió i corrent continua.

Tal i com s'ha comentat en l'apartat anterior, es important recordar que la quantitat elèctrica que s'aconseguirà produir durant un temps de referència, estarà determinada pels següents quatre factors: rendiment de les seves cèl·lules fotovoltaïques (1), resistència de la càrrega (punt de treball en la corba I-V) (2), irradiància solar (3) i la temperatura de les cèl·lules (4).

Si bé l'element principal del subsistema de captació no deixa de ser altre que el propi mòdul, panell o lona fotovoltaica, aquests també incorporen altres elements rellevants que els permet la interconnexió entre sí i/o amb altres subsistemes. Aquests elements son el propi cablejat o conductors, fusibles, caixes de connexions, díodes, parallamps, auto-vàlvules i bornes de derivació a terra.

Els conductors emprats per a la interconnexió dels mòduls han de ser de doble aïllament al estar instal·lats a l'exterior, resistents als raigs ultraviolats i a les altes temperatures que es poden produir en períodes d'alta insolació. Donat que aquests hauran de suportar diferents intensitats de corrent tan en règim de càrrega nominal com en cas de curtcircuit i minimitzar les caigudes de tensió, hauran de ser adientment dimensionats pel que fa a la secció.

Com a norma general els mòduls fotovoltaics es fabriquen disposant en primer lloc les cèl·lules necessàries en sèrie per a aconseguir la tensió desitjada a la sortida del generador fotovoltaic i a continuació s'associen els ramals de cèl·lules en sèrie en paral·lel fins a aconseguir el nivell de intensitat desitjat.

A l'hora de dimensionar la nostra instal·lació, es necessari conèixer els paràmetres elèctrics dels mòduls que es pretenen instal·lar (en l'apartat anterior ja s'ha fet referència a alguns d'aquests):

- Intensitat de curtcircuit (I_{sc}): màxima intensitat (A) que es genera en el mòdul quan no hi ha connectada cap càrrega i es curtcircuiten les bornes.
- Tensió de circuit obert (V_{oc}): es la màxima tensió (V) que proporciona el mòdul quan no hi ha connectada cap càrrega entre els borns del mòdul i aquests estan a l'aire.
- Punt de màxima potència (I_{mpp} , V_{mpp}): es el punt en el qual la potència entregada es màxima i en el qual s'obté el major rendiment possible del mòdul.



- Factor de forma (FF): es la relació entre la potència màxima que el panell pot entregar i el producte de la intensitat de màxima potència (I_{mpp}) i la tensió de màxima potència (V_{mpp}). Aquest paràmetre serveix per a conèixer la corba característica I-V dels mòduls.
- Eficiència i rendiment (η): es la relació entre la potència màxima que el mòdul pot entregar i la potència de la radiació solar incident. Depenent de la tecnologia utilitzada a la hora de fabricació del mòdul pot arribar fins a 18%.

Tots aquests paràmetres fonamentals d'un mòdul fotovoltaic es poden mostrar mitjançant la corba V-I (Fig. 4.6) al mateix temps que també es pot observar la variació d'aquesta respecte a la irradiància que incideix sobre els mòduls a la temperatura de condicions estàndard de mesura (25°C).

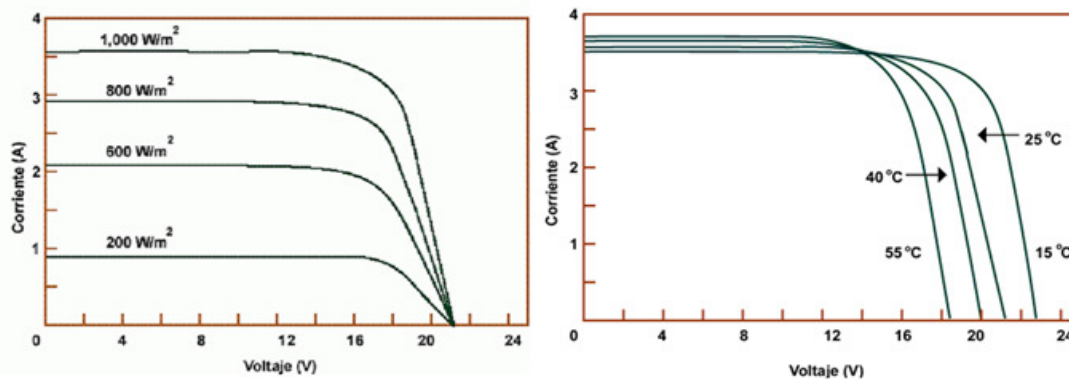


Fig. 4.6 Corba V-I. Variació en funció del nivell d'irradiància i temperatura

Tots aquests son proporcionats pels fabricants a través de les fulles de característiques dels mòduls fotovoltaics. S'ha de tindre en compte que aquests paràmetres no son constants ja que els fabricants prenen com a referència unes condicions de funcionament estàndard conegudes com Condicions Estàndard de Mesura (CEM) que son unes condicions de irradiància i temperatura determinades en la cèl·lula solar. Aquestes condicions son:

Irradiància: 1.000 W/m^2

Temperatura de la cèl·lula: 25°C

D'aquesta manera, si les condicions a les que es va sotmetent el propi mòdul fotovoltaic son diferents a les estàndard de mesura, les característiques dels mòduls canviaran. En fet que els paràmetres fonamentals dels mòduls puguin canviar es fonamental de cara al disseny de la instal·lació ja que es molt possible que en condicions normals de



funcionament estiguem lluny de les condicions estàndard de mesura i la instal·lació pot veure's afectada. Per a això es necessari conèixer dos paràmetres addicionals:

- Coeficient de temperatura de V_{OC} : es el coeficient de correcció per a la tensió màxima que es produeix a circuit obert quan no existeix cap càrrega connectada. Aquest coeficient ens mostra como varia la tensió amb una variació de temperatura. La tensió de circuit obert augmenta quan la temperatura disminueix i disminueix quan la temperatura augmenta.
- Coeficient de temperatura de I_{SC} : es el coeficient de correcció per a la intensitat màxima que es produeixi en el mòdul quan no hi ha connectada cap càrrega i curtcircuitem els borns del mòdul. Aquest coeficient mostra com varia la intensitat amb una variació de la temperatura. La intensitat de curtcircuit augmenta quan augmenta la temperatura i disminueix quan disminueix la temperatura.

Amb aquests coeficients de temperatura, es pot representar el comportament dels mòduls davant de variacions de temperatura observant com canvien la tensió i la corrent de màxima potència, la tensió de circuit obert i la corrent de curtcircuit considerant com a referència la irradiància en condicions estàndard de mesura (1.000 W/m^2).

2. Subsistema d'adaptació del subministrament elèctric:

La missió principal del propi subsistema d'adaptació consisteix en fer compatibles les característiques elèctriques dels sistemes fotovoltaics i la xarxa elèctrica ja sigui en baixa, mitja o alta tensió. L'element primordial per a poder dur a terme el procés es l'inversor. Els inversors utilitzats per a la interconnexió a la xarxa de distribució transformaran la corrent contínua (CC) provinent del subsistema de captació, en corrent alterna (CA) perfectament sincronitzada amb la xarxa. Això passa per disposar de la mateixa seqüència de fases, tensió, freqüència i forma d'ona que la xarxa.

El funcionament de l'inversor està basat en ponts d'interruptors de semiconductors de potència amb un cicle controlat d'obertura i tancament que generen ones de polsos variables (quants més polsos, menor distorsió harmònica i major proximitat a la onda pura senoïdal).

Els inversors utilitzats en les aplicacions fotovoltaïques es poden agrupar o dividir en dues grans categories: els auto commutats i els commutats per la xarxa. Els inversors auto commutats poden funcionar com a font de corrent i com a font de tensió, mentre que els commutats per xarxa només com a font de corrent. Per aquest motiu, els auto commutats es poden utilitzar tant en aplicacions autònomes com en aplicacions connectades a xarxa elèctrica i els commutats per la xarxa únicament en aplicacions connectades a aquesta.

Entre altres coses, l'inversor que utilitzarem en aquest projecte haurà de ser capaç de:

- Operar en un ampli rang de voltatge DC d'entrada.



- Comptar amb autoproteccions i seguretat que protegeixin a l'usuari.
- Regular el voltatge i la freqüència de sortida.
- Proporcionar potència AC a les càrregues o a la xarxa elèctrica amb una determinada qualitat de subministrament.
- Realitzar el seguiment del punt de màxima potència si estan directament connectats al generador fotovoltaic.
- Operar en un ampli rang de condicions ambientals de temperatura i humitat relativa.
- Satisfer les necessitats de seguretat exigides en la connexió a xarxa.

Donat que no es pot permetre cap tipus de imprudència i/o errada a l'hora d'injectar l'energia generada a la xarxa de baixa tensió, l'inversor esdevé element fonamental i es per aquest motiu que aquests tenen rendiments elevats i son altament fiables. El rendiment dels inversors oscil·la entre el 90% i el 97%. Aquest rendiment depèn de la variació de la potència de la instal·lació, pel que s'intentarà que l'inversor treballi amb potències properes o iguals a la nominal, doncs si la potència d'entrada a l'inversor provinent dels mòduls fotovoltaics varia, el rendiment disminueix.

Per evitar que el rendiment disminueixi amb la variació de la potència d'entrada provinent dels mòduls solars, els inversors han d'estar equipats amb dispositius electrònics que permetin realitzar un seguiment del punt de màxima potència dels mòduls, permetent, d'aquesta manera, obtenir la màxima eficiència possible del generador fotovoltaic en qualsevol circumstància de funcionament.

Un dels paràmetres importants que defineixen un inversor es el rang de tensions al qual pot funcionar amb major rendiment. Això es important ja que la tensió que subministren els mòduls del generador fotovoltaic per a entregar la màxima potència no sempre es la mateixa, sinó que varia amb la temperatura i si aquesta tensió augmenta o disminueix a la vegada que disminueix o augmenta la temperatura podem arribar a assolir tensions a l'entrada de l'inversor superiors o inferiors a la tensió normal de funcionament de l'inversor.

Dins dels requeriments específics d'operació en connexió a xarxa, l'inversor fotovoltaic també ha d'operar dintre d'uns marges de freqüència de sortida i temperatura així com no incidir negativament sobre la distorsió harmònica de la ona de tensió de la xarxa, la qual ha de complir amb la normativa vigent que requereix una distorsió harmònica de la ona de corrent de 5% i una distorsió harmònica de la ona de tensió de 2%. Habitualment aquesta distorsió harmònica total de la ona de corrent augmenta quan disminueix la potència d'operació.

També es requeriment de la normativa el fet que els inversors de connexió a xarxa comptin amb el corresponent aïllament galvànic entre la xarxa i la instal·lació fotovoltaica. Aquest aïllament galvànic es pot fer tant mitjançant transformadors de baixa com d'alta freqüència.



Una altra de les funcions més importants de l'inversor es la detecció del funcionament en mode "illa". Aquest efecte illa es pot definir com una situació en la qual tot el sistema de potència dispers continua subministrant potència a la xarxa de distribució, tot i que es pot donar la circumstància que la potència de xarxa pugui haver estat tallada per error o manteniment. Això es possible sempre que la potència real reactiva sigui igual a la producció i consum entre les parts separades de la xarxa. Quan la xarxa de distribució perd potència, el sistema dispers ha de detectar aquesta pèrdua de potència i desconnectar immediatament el sistema, evitant així el fenomen "illa", el qual a més de perillós pot provocar danys a la xarxa.

De entre els inversors destinats a la connexió a xarxa, podem trobar tres categories diferents:

- Inversors centrals: generalment utilitzats en grans instal·lacions fotovoltaïques de potència major a 100 kWp, en les que el generador fotovoltaic es connecta en ramals en paral·lel i la conversió DC/AC està centralitzat per un sol inversor. Actualment, els inversors basats en tiristors, desenvolupats en el passat, estan donant pas als inversors basats en IGBT amb control PWM (punt de màxima potència) per microprocessador. Les avantatges d'aquest tipus de instal·lació són que es té una estructura robusta, es poden aconseguir potències de la planta fins al rang de MW i el predomini de connexions es en sèrie.
- Inversors tipus "string" o de cadena: basats en un concepte modular en el que diferents ramals d'un generador fotovoltaic es connecten a inversors en el rang de potències de 1 a 10 kW. Habitualment utilitzats en sistemes fotovoltaics integrats en edificis (tot i que pot ser aplicable a grans centrals, superiors a potències de 1 MWp). De entre les principals avantatges a destacar hi ha que s'obtenen rendiments superiors en relació al tipus d'inversor central ja que tenim un seguiment del punt de màxima potència individual per cadena i que es pot prescindir de la caixa de connexió del generador.
- Inversors multicadena: s'utilitzen amb potències entorn als 5 kW i són una barreja dels centrals pel costat de l'alimentació i tipus cadena pel costat del generador. Estan dissenyats específicament per les cadenes que tenen diferents característiques.
- Inversors de petita potència integrats en mòduls fotovoltaics per a conformar els coneguts mòduls AC.

Mentre que els inversors centralitzats habitualment disposen d'aïllament galvànic en baixa freqüència, els inversors de cadena (string) poden disposar d'aïllament galvànic tan en alta com en baixa freqüència.

La seva ubicació es molt important i ha de ser en espai fred, normalment s'aconsegueix mitjançant un ventilador donat que els que refreden per convecció s'escalfen molt. Si la



temperatura on es troba l'inversor es massa càlida perjudica greument al rendiment de la instal·lació. La vida útil mitja d'aquest component està al voltant dels 15-20 anys.

Els fabricants proporcionen les característiques de l'inversor mitjançant les corresponents fulles tècniques. Aquestes ens serveixen per a poder comparar entre diferents models i, així, poder dissenyar millor la nostra instal·lació. Entre els paràmetres més rellevants que podem trobar hi ha el rang de potència, tensió i intensitat màxima que no podrà ser superat per no malmetre l'equip així com els valors de funcionament com la freqüència i tensió nominal.

A part d'aquests valors haurem de prestar especial atenció als següents conceptes que convé explicar detingudament:

- Eficiència màxima: es la major eficiència que pot assolir l'equip inversor en les condicions de potència, tensió i temperatura nominals.
- Eficiència europea: donat que l'inversor treballa molt poc temps en les condicions nominals, s'utilitza aquest paràmetre per a poder expressar la mesura de les eficiències a diferents potències de treball, donant major pes a les eficiències en les que s'acostuma a trobar més temps l'inversor fotovoltaic. El valor final es pot expressar mitjançant la següent fórmula:

$$\eta_{\text{euro}} = 0,03 \times \eta (5\%) + 0,06 \times \eta (10\%) + 0,13 \times \eta (20\%) + 0,1 \times \eta (30\%) + 0,48 \times \eta (50\%) + 0,2 \times \eta (100\%)$$

Aquest paràmetre permet comparar rendiments sota condicions de insolació europees.

- Rang de temperatures de funcionament: es la temperatura màxima a la que pot estar sotmès l'inversor per a que treballi en el punt de màxima potència. Donat que les temperatures que es poden donar a Catalunya i, en concret a Rubí, poden ser elevades, es preferible que aquest valor sigui elevat.
- Grau de protecció IP: indica la protecció de l'aparell front a l'entrada d'elements peril·losos (primera xifra) i a partícules d'aigua (segona xifra).

Tal com hem comentat els inversors poden incorporar funcions de protecció a la vegada que en algunes ocasions es poden considerar, inclús, dispositius externs amb aquest objectiu.

Tan si l'equip inversor l'incorpora com si ho fem amb dispositius externs sempre haurem de garantir:

- ✓ Protecció contra escalfament excessiu.
- ✓ Protecció de funcionament en mode illa.



- ✓ Protecció d'aïllament.
- ✓ Protecció contra inversió de polaritat

3. Subsistema de transport de l'energia elèctrica:

Aquest subsistema està constituït bàsicament pels mateixos components que, de forma habitual, s'empren en tot sistema de transport de l'energia elèctrica. Generalment cablejat i/o altres formes de conducció.

Els criteris a considerar a l'hora de dissenyar el propi subsistema de la instal·lació en qüestió, son precisament els mateixos que qualsevol altra instal·lació elèctrica de baixa tensió. Per a fer esmena d'alguns aspectes importants, formaran part d'aquest criteris aspectes com: tipus de conductor (unifilar/multifilar) y material (coure/alumini), protegit amb o sense manega de PVC, instal·lació encastada o vista, secció dels propis elements conductius, caigudes de tensió permeses d'acord amb el Reglament General de Baixa Tensió, entre altres.

4. Subsistema de mesura i protecció:

Amb l'objectiu essencial que una instal·lació fotovoltaica funcioni d'una forma fiable i segura, es primordial comptar amb un conjunt de dispositius de mesura i protecció. Les principals funcions d'aquests serien:

A nivell de mesura, es considera imprescindible conèixer l'energia produïda i consumida pel sistema fotovoltaic. I en el cas que ens ocupa, amb instal·lacions interconnectades amb la xarxa elèctrica passa a ser un requisit obligat. Per a poder dur-ho a terme, s'utilitzen comptadors d'energia elèctrica (energia activa – kWh), ja siguin de tipus electromecànics o electrònics (molt més comuns en l'actualitat doncs permet un nivell de prestacions superior incloent la capacitat de comunicar-se de forma remota).

Depenent de la pròpia instal·lació i les seves peculiaritats, pot ser necessari i/o obligatori, també, la instal·lació de comptadors d'energia reactiva (captant lectures de kVArh entregats o consumits). En ambdós casos, els comptadors podran o hauran de ser o bé monofàsics o trifàsics depenent del tipus d'instal·lació considerada.

Pel que fa a proteccions, les pròpies instal·lacions hauran d'incorporar dispositius i sistemes de protecció que garanteixin un alt nivell de seguretat tan per a les persones com per als mateixos equips constituents. L'objectiu principal es basa en assegurar que cada subsistema de la instal·lació queda degudament protegit d'acord amb els riscos que poden sorgir.

El nombre, característiques i prestacions dels dispositius de protecció depenen de les característiques del sistema fotovoltaic, de les prescripcions reglamentaries que siguin d'aplicació, el grau de protecció a assolir i el propi cost econòmic que suposa. Entre d'altres podem trobar les següents:



- Protecció contra sobrecàrregues i curtcircuits. S'utilitzen interruptors electromagnètics, magnètics o fusibles.
- Protecció contra contactes directes i indirectes. Es realitzen instal·lacions de derivació a terra de les masses i es consideren interruptors diferencials.
- Protecció contra sobretensions mitjançant la instal·lació de parallamps o descarregadors d'autovàlvules que, al presentar una sobretensió, la deriven a terra.
- Proteccions associades a la interconnexió amb la xarxa elèctrica de distribució.

En algunes ocasions, moltes d'aquestes proteccions poden estar aglutinades i integrades en un únic equip o dispositiu que, a més, pot realitzar altra funció principal. Es el cas d'alguns inversors.

4.5. Situació de la fotovoltaica en el marc legal vigent

Com qualsevol altra tipus de tecnologia nova, les instal·lacions fotovoltaïques han hagut de travessar dificultats, no només econòmiques i tècniques si no també d'acceptació sociocultural, fins a arribar a la situació actual de desenvolupament. En particular, el model de instal·lació fotovoltaica amb connexió a xarxa ha hagut de subsistir, i encara ho fa a dia d'avui, mitjançant incentius econòmics que permeten fer d'aquestes instal·lacions, no només una forma de generar energia sostenible si no també de crear un negoci econòmicament rentable per a aquest tipus de instal·lacions. A continuació exposarem quina es la situació actual a nivell legislatiu i en l'Annex A podrem veure com ha estat l'evolució fins a dia d'avui.

Com hem pogut veure, els continus canvis en l'estratègia energètica del país i, sobre tot, els continus rumors que segueixen rodejant el sector fan fràgil aquest tipus de tecnologia. La intenció del govern no sembla ser altra que forçar a la indústria renovable i, en particular a la fotovoltaica, a aproximar els costos de producció d'un kWh per mitjans renovables a un kWh produït per energies convencionals mitjançant la reducció continuada de les primes.

L'assoliment dels objectius previstos en el Pla d'Energies Renovables 2005-2010 [1] per a la tecnologia eòlica i les tecnologies solar termoelèctrica i fotovoltaica, ha posat de manifest un desequilibri entre els costos de producció i el valor de les primes, suposant un increment del sobre cost per al sistema en concepte d'aquestes per a les tecnologies solars.

Amb l'objectiu d'acotar el increment del dèficit tarifari es van anar succeint canvis a nivell legislatius (RD 6/2009 de 30 abril [2], RD 14/2010 [3]) però les mesures adoptades no han resultat ser suficients, posant, inclús, en risc l'objectiu final de supressió del dèficit tarifari a partir del 2013.

No hi ha dubte que el dèficit tarifari constitueix en sí mateix una barrera per al desenvolupament estable del sector en el seu conjunt i en particular per a la continuació de



les polítiques de foment a la producció elèctrica a partir de fonts d'energia renovable i alta eficiència.

Amb aquest escenari i tenint en compte que la capacitat de generació instal·lada en aquests moments sembla ser suficient per a assegurar la cobertura de la demanda prevista per als propers anys, tot apunta a que el govern no veu imprescindible en aquests moments continuar amb les tasses anuals de implantació d'aquestes tecnologies per a aconseguir al final de la dècada els objectius previstos.

A tot això, la complexa situació econòmica i financera sembla haver promogut la supressió dels incentius per a la construcció d'aquestes instal·lacions, amb caràcter temporal, al menys fins a la solució del principal problema que amenaça la sostenibilitat econòmica del sistema elèctric, que no es altra que el dèficit tarifari del sistema elèctric.

En aquesta línia es troba l'article 4 del Reial Decret Llei 1/2012 [4] del 27 de gener en el que es suspèn el procediment de inscripció en el Registre de pre-assignació previst en l'article 4.1 del Reial Decret 1578/2088 [5] del 26 de setembre, de les sol·licituds de instal·lacions de tecnologia fotovoltaica que hagin estat presentades a les convocatòries corresponents a 2012. Així, queden sense efecte la celebració de les convocatòries de pre-assignació corresponent a l'any 2012 i successius si bé el Govern podrà restablir reglamentàriament la inscripció en el Registre de pre-assignació de retribució quan el context energètic així ho requereixi.

En aquest context i davant de la fragilitat legislativa evident que pateix el sector no deixa de ser molt sorprenent el fet que un tipus d'energia com la fotovoltaica amb una producció fàcilment gestionable i segura, així com sostenible mediambiental i estratègicament parlant no estigui fortament sustentada, no només de cara als nous promotors, si no també, per a aquells acollits a anteriors règims de bonificació (constants rumors de retroactivitat).

Ben és cert que des del passat 18 de Novembre de 2011 ja està disponible l'esborrany de Reial Decret [6] que regularà el sistema d'Autoconsum Fotovoltaic de manera que qualsevol ciutadà podrà ser productor d'energia elèctrica per al seu propi consum.

Fins ara, la legislació vigent fomentava la instal·lació de sistemes fotovoltaics en edificacions, però obliga a injectar la producció a la xarxa i comprar després l'electricitat a les comercialitzadores.

Entre tots els conceptes i detalls més destacables de l'esborrany podem destacar:

- S'introdueix el concepte de mecanisme de compensació diferida o de balanç net que es defineix com aquell sistema de compensació de salts d'energia de manera instantània o diferida que permet als consumidors la producció individual d'energia per al seu propi consum amb l'objectiu de compatibilitzar la seva corba de producció amb la pròpia de demanda. Aquest sistema es especialment interessant per a les instal·lacions de generació elèctrica amb fonts renovables no



gestionables, com eòlica o solar, ja que els permet adequar la producció al consum sense la necessitat d'acumulació. El sistema de balanç net es podrà aplicar a qualsevol tecnologia renovable de generació elèctrica.

- Aquest escenari facilitarà l'arribada de la paritat de xarxa per a les energies renovables, entenent com a paritat de xarxa el punt de indiferència entre la compra d'energia elèctrica al sistema i la producció individual de la mateixa per al propi consum. En el moment que s'assoleixi aquest punt, per al consumidor, el cost de producció individual d'energia per al propi consum serà igual al preu de referència de l'electricitat consumida de la xarxa, de manera que el cost d'oportunitat del consumidor serà nul.
- Àmbits d'aplicació: El reial decret serà d'aplicació als consumidors d'energia elèctrica de potencia contractada no superior a 100 kW per punt de subministrament o instal·lació, que instal·lin en la seva xarxa interior una instal·lació de generació d'energia elèctrica destinada al seu propi consum.
- Gestió de l'energia excedentària: El consumidor, acollit a la modalitat de balanç net cedirà a la comercialitzadora l'energia generada que no pot consumir. Aquesta cessió no suposarà cap contraprestació econòmica, però generarà un dret de consum diferit pel que es podrà consumir l'energia injectada a xarxa durant els dotze mesos posteriors a la seva producció.

Així doncs, tot apunta a que l'autoconsum pot ser una bona solució a la problemàtica actual tant per al consumidor final com per al propi sistema elèctric en conjunt.



5. Anàlisi de la informació en l'àmbit d'actuació

5.1. Introducció

Atenent als nombrosos motius pel que Rubí esdevé municipi objecte de l'estudi en qüestió, en aquest punt es faran conèixer les dades més representatives del propi municipi a la vegada que les pròpies dades i/o factors que han estat determinants a l'hora d'escollir-lo.

Rubí es un municipi que pertany a la comarca del Vallès Occidental i esdevé quart municipi de la comarca pel que fa a nombre d'habitants (73.979 hab. censats l'any 2011). Disposa d'una superfície de sòl industrial molt notable (vora les 361 ha de sòl industrial) i amb capacitat i voluntat per fer una transformació de les diferents Àrees d'activitat econòmica amb l'objectiu de ser referents pel que fa a innovació i dotar aquestes d'un segell de distinció envers altres àrees d'altres municipis veïns.

Rubí està situat a la part meridional de la comarca, a 123 metres sobre el nivell del mar i a 41°29'36" latitud Nord, 2°01'57" longitud Est del Meridià Greenwich. Es tracta d'un municipi que el podem circumscriure dins l'àmbit de transició entre la primera i segona corona metropolitana (veure Fig. 5.1). Té una superfície de 32,33 km² i limita al nord amb Terrassa, a l'est amb Sant Quirze del Vallès, a l'oest amb Ullastrell i Castellbisbal i al sud amb Sant Cugat.

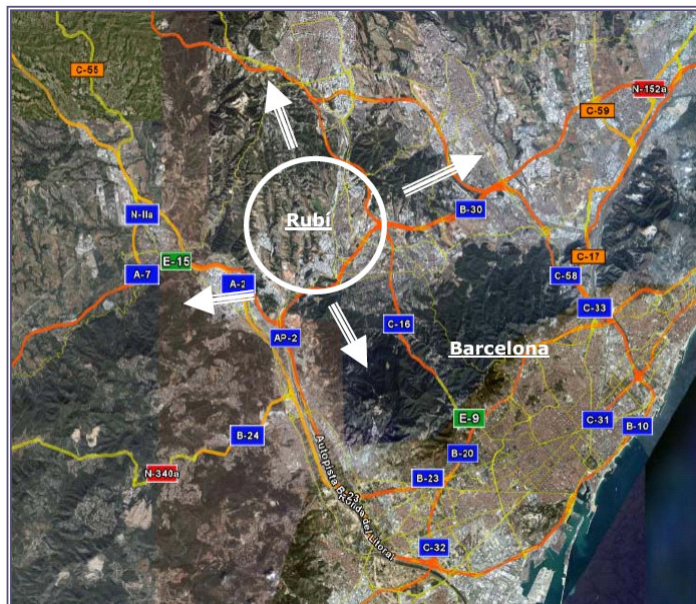


Fig. 5.1 Localització de Rubí entre primera i segona corona metropolitana

Una llarga història i tradició industrial juntament amb la pròpia localització a nivell geogràfic han fet que, avui, Rubí compti amb deu àrees d'activitat econòmica o polígons industrials. Si l'objectiu del projecte o estudi es centra en calcular l'ordre de magnitud que suposaria



convertir totes les cobertes en sòl industrial en cobertes actives pel que fa a generació d'energia elèctrica, podem considerar Rubí com a municipi ideal.

Si bé en general, el nom de Polígon Industrial comença a caure en desús doncs s'observa un augment progressiu de la implantació d'activitats no exclusivament industrials, i es considera com a més adient el concepte d'Àrea d'Activitat Econòmica o Empresarial, en aquest projecte s'alternaran ambdós formes d'anomenar indistintament.

5.2. Principals motius d'elecció del municipi

El Vallès Occidental s'ha configurat al llarg dels darrers anys amb una població propera als 892.260 habitants (2011), un pes econòmic que representa un 11% del PIB català i gairebé un 3% del PIB espanyol, és la tercera comarca catalana amb major nombre d'espais dedicats a les activitats econòmiques i la primera comarca en superfície total dedicada a activitats econòmiques de tot Catalunya.

A nivell general, els punts forts de l'economia de Rubí, a l'igual que la pròpia comarca del Vallès Occidental, són:

- l'excel·lent localització geogràfica dins de Catalunya, d'Espanya i de l'Arc Mediterrani.
- l'augment continuat de la població que fa incrementar la població activa del municipi i de la comarca.
- respecte d'altres àmbits propers, una població més jove i amb un bon nivell formatiu.
- important teixit de petites i mitjanes empreses, molt arrelades al territori.
- tradició emprenedora i un notable dinamisme empresarial, essent històricament i en l'actualitat motors econòmics importants.
- destaca un elevat grau de diversificació i especialització sectorial de l'economia, sobretot en la indústria.
- notable vocació exportadora.
- un entramat universitari de primer nivell, la qual cosa garanteix que la comarca generi innovació i coneixement d'alt nivell i de valor afegit, impulsant una economia cada vegada més dirigida cap al coneixement i la tecnologia avançada.

En particular, pel que fa al projecte en qüestió, Rubí està concentrant esforços i voluntats per intensificar accions de suport als polígons industrials de la ciutat per enfortir el seu teixit econòmic. Bona prova d'això es el conveni que en el 2007 l'Ajuntament va signar amb la Diputació de Barcelona a fi i efecte de dur a terme aquestes accions sobre el conjunt dels seus 10 polígons industrials en els propers anys.



Per altra banda, l'Ajuntament de Rubí també assumeix el compromís de treballar per la sostenibilitat del propi sistema energètic tot apostant per les energies renovables i millora de l'eficiència energètica.

En base a aquest punt, l'Ajuntament de Rubí signa el Pacte d'Alcaldes i Alcaldesses (iniciativa de la Direcció General de Transport i Energia de la Comissió Europea) al que el municipi s'adhereix el passat 30 d'Octubre de 2008 conjuntament amb altres ciutats; arrel d'aquest pacte es crea un nou Pla d'Acció per a l'Energia Sostenible (PAES) amb l'objectiu de reduir un 20% les emissions de diòxid de carboni a l'atmosfera a través del increment d'un 20% de les energies renovables i un 20% l'eficiència energètica en l'àmbit municipal abans del 2020.

En el moment de signar el pacte, es preveia que els esforços en reduir el 20% les emissions de diòxid de carboni equivaldrien a reduir unes 57.300 tones de CO₂.

5.3. Àmbit d'actuació sobre el que es fonamenta l'estudi

Abans d'entrar en detall pel que fa al càlcul de les diferents superfícies en cobertes imputables en l'estudi a nivell de captació d'energia fotovoltaica, així com el nombre i la modalitat de instal·lacions que considerarem (apartat 6.2), a continuació presentem el nom dels deu polígons industrials i la seva localització geogràfica en el municipi de Rubí.

Com podem veure en la figura Fig. 5.2, hi ha un total de 4 polígons ubicats en la zona nord del municipi (La Llana, Crta. de Terrassa, Molí de la Bastida i Can Rosés), 4 més en la zona sud (Cova Solera, Can Jardí, Ca n' Alzamora i Rubí Sud o Can Pi de Vilaroch) i 2 més a banda i banda de al riera de Rubí (Sant Genís a la banda oest i Can Sant Joan a la banda est). Una descripció detallada dels polígons la podem veure en la Taula 5.1.

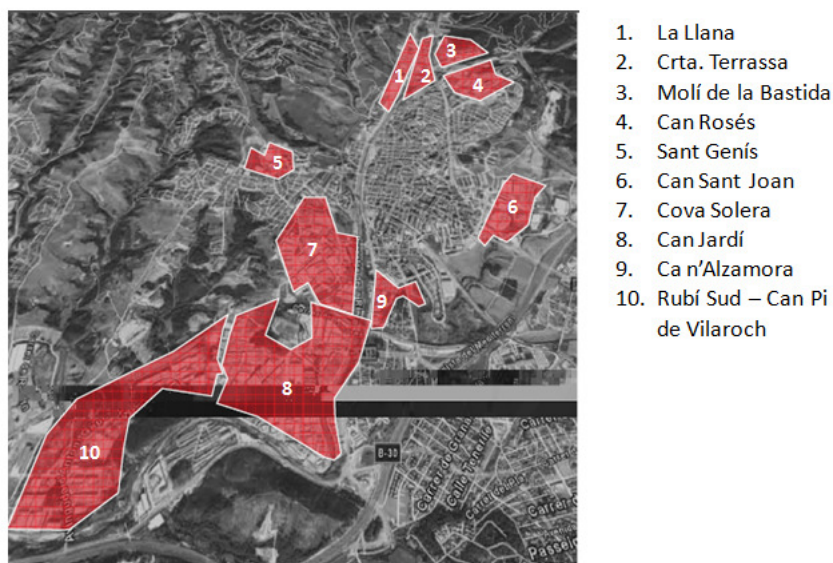


Fig. 5.2 Situació dels polígons industrials a Rubí



DADES POL. IND. /	La Llana	Crta. de Terrassa	Molí de la Bastida	Can Rosés	Sant Genís	Can Sant Joan	Cova Solera	Can Jardí	Ca n'Alzamora	Rubí Sud
Sup. Total	97.138 m ²	192.978 m ²	320.000 m ²	478.818 m ²	223.720 m ²	352.519 m ²	559.295 m ²	443.085 m ²	97.138 m ²	845.097 m ²
Sup. Útil	87.478 m ²	157.509 m ²	192.000 m ²	393.493 m ²	191.482 m ²	137.585 m ²	447.436 m ²	363.330 m ²	87.478 m ²	439.450 m ²
Sòl ocupat	100%	90%	70%	100%	90%	100%	100%	100%	100%	60%
Sòl vacant	0%	10%	30%	0%	10%	0%	0%	0%	0%	40%
Qualificació	Zona Industrial en edificació aïllada i illa tancada	Zona Industrial en edificació aïllada	Zona Industrial en edificació aïllada	Zona Industrial en edificació aïllada	Zona Industrial en edificació aïllada	Zona Industrial en edificació aïllada	Zona Industrial en edificació aïllada	Zona Industrial en edificació aïllada	Zona Industrial en edificació aïllada i illa tancada	Zona Industrial en edificació aïllada
Superfície edificable	1.10 m ² / m ²	1.10 m ² / m ²	1.10 m ² / m ²	0.8 m ² / m ²	1.10 m ² / m ²	0.45 - 1.10 m ² / m ²	1.10 m ² / m ²	1.10 m ² / m ²	1.10 m ² / m ²	1.10 m ² / m ²
Volum màxim edif.	8 m ³ / m ²	8 m ³ / m ²	8 m ³ / m ²	8 m ³ / m ²	8 m ³ / m ²	7 – 7.5 m ³ / m ²	8 m ³ / m ²	8 m ³ / m ²	8 m ³ / m ²	8 m ³ / m ²
Alçada màxima	15 m	15 m	15 m	15 m	15 m	18.5 – 26.15 m	15 m	15 m	15 m	15 m
Parcel·la mínima	500 m ²	500 m ²	500 m ²	400 m ²	500 m ²	5.000 m ²	500 m ²	400 m ²	500 m ²	500 m ²
Ocupació màx. parc.	60 - 70%	60 - 70%	60 - 70%	40%	60 - 70%	70%	60 - 70%	60 - 70%	60 - 70%	60 - 70%
Usos permesos	Indus. fins a Cat. 5	Indus. fins a Cat. 5	Indus. fins a Cat. 5	Indus. fins a Cat. 5	Indus. fins a Cat. 5	Indus. fins a Cat. 5	Indus. fins a Cat. 5	Indus. fins a Cat. 5	Indus. fins a Cat. 5	Indus. fins a Cat. 5

Taula 5.1 Informació dels polígons industrials de Rubí

6. Sistema fotovoltaic solució considerat

6.1. Introducció

Dintre de les diferents modalitats i/o instal·lacions fotovoltaïques, la opció de cobertes solars es fa, si més no, una de les modalitats més atractiva donada l'alta capacitat de generar beneficis econòmics per la venda dels kWh produïts amb una alta rendibilitat.

Amb aquest sistema solució considerat incidim de forma positiva en millorar notablement l'eficiència en els edificis industrials (normalment molt deficitaris a nivell de balanç energètic), aprofitar millor l'espai disponible (minimitzant l'ocupació de grans superfícies) i generar uns ingressos extra amb, pràcticament, un cost de manteniment quasi nul o, si més no, insignificant.

Aquest sistema solució pot ser de gran interès i/o anar dirigit a:

- Propietaris de naus industrials que tinguin una superfície de captació mínima en coberta que els permeti generar ingressos estables i prolongats en el temps a partir d'una inversió inicial amortitzable a curt – mig termini.
- Arrendataris de naus industrials que poden veure incrementats els seus ingressos per l'arrendament de la seva nau.
- Als promotors i empreses constructores de naus industrials que els permeti distingir-se de la competència amb una idea moderna, rentable i eficient.
- A les empreses dedicades a la reparació de cobertes de tot tipus, ampliant així la seva oferta de productes a la vegada que possibles serveis de manteniment de les mateixes instal·lacions (ingressos recurrents).
- A les entitats financeres. Aquestes disposen de clients propietaris de naus industrials amb els que poden fer negocis a la vegada que fidelitzar amb aquests oferint-los alternatives d'inversió amb les que diversificar.
- A particulars amb consciència ecològica i interès per les inversions rentables i segures.

6.2. Consideracions prèvies de disseny i potència total instal·lada.

Com hem exposat amb anterioritat, el nostre marc d'aplicació per al sistema solució considerat es centrarà en el Municipi de Rubí i, en particular, en les diferents Àrees d'Activitat Econòmica i/o Polígons Industrials (10 àrees en total).



En base a la pròpia tecnologia considerada (laminats fotovoltaics o lones de silici amorf), les particularitats de la instal·lació com a tal i les pròpia característiques físiques de les diferents cobertes, s'han considerat les següents modalitats d'inversió / instal·lació en funció de la superfície mínima disponible (consideració contrastada amb diferents empreses líders del sector i que podem consultar en l'Annex B.1):

- **INST10:** 10 kW amb superfície mínima de 370 m².
- **INST30:** 30 kW amb superfície mínima de 1.110 m².
- **INST50:** 50 kW amb superfície mínima de 1.850 m².
- **INST100:** 100 kW amb superfície mínima de 3.700 m².

Avui en dia les cobertes tenen altres aplicacions de gran rellevància a més a més de la seva funció principal. A continuació s'indiquen algunes:

- ✓ Àrea d'instal·lació i emplaçament d'equips de climatització.
- ✓ Àrea d'instal·lació i emplaçament d'equips de ventilació i/o renovació d'aire.
- ✓ Àrea d'instal·lació d'antenes per telefonia, satèl·lit, etc.
- ✓ Canalització d'aigües pluvials i d'aigua provinent de possibles precipitacions en forma de neu.

Donades les diferents aplicacions i el corresponent servei de manteniment que aquestes instal·lacions requereixen, es fa necessari disposar del corresponent espai en coberta (passadissos i àrees de treball) per a accedir als diferents equips i desenvolupar l'activitat de manteniment corresponent.

Aquesta superfície d'ocupació dels propis equips i els pertinents accessos per a manteniment, es evident que no formen part de la superfície disponible per a la captació d'energia i han de quedar excloses de la totalitat de la superfície de la coberta.

Un altra factor rellevant a considerar i que incideix directament sobre la superfície mínima disponible (apte i/o òptima) a considerar, té a veure amb la orientació de la superfície considerada en vers al sistema de coordenades i l'angle d'inclinació respecte a l'horitzontal. Tan la orientació de la nau com la pròpia forma de les cobertes condicionen en aquest sentit. En base a aquests dos factors d'orientació i inclinació dels panells considerem condicions òptimes en ambdós casos (orientació a sud i inclinació de 35º; valor extret de l'aplicació de la Comissió Europea: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php> [23]). Això ve a dir que les superfícies mínimes considerades en les diferents modalitats d'inversió / instal·lació considerades permeten projectar d'acord a aquests dos factors d'orientació i inclinació.

Pel que fa a criteris de disseny que s'han tingut en compte, a continuació s'indiquen les principals característiques de les instal·lacions:



- **Instal·lacions modulars:** Les instal·lacions estaran compostades per un, tres, cinc i/o deu ramals independents (en paral·lel), un per cada equip inversor, amb l'objectiu d'augmentar la fiabilitat de la planta i reduir les pèrdues en cas d'averies o serveis de manteniment. D'aquesta manera, en el moment en que s'hagin de dur a terme operacions de reparació i/o manteniment, només s'haurà de desconnectar el ramal afectat incidint, així, només en un percentatge petit en relació a la totalitat de la generació d'energia elèctrica.
- **Compliment dels paràmetres d'entrada als inversors, optimitzant el seu ús:** Això ho aconseguirem dissenyant una configuració sèrie-paral·lel dels laminats fotovoltaics de manera que es compleixin les restriccions de tensió, intensitat i potència dels inversors.
- **Ramals equilibrats entre sí:** Això ho aconseguirem fent que tots els ramals estiguin conformats per el mateix nombre de panells i igual distribució sèrie/paral·lel.

D'acord amb aquest conjunt de consideracions prèvies i criteris de disseny, a continuació es detalla el conjunt d'instal·lacions que conformaran l'àrea total de captació / generació d'energia fotovoltaica.

Per a poder calcular i/o estimar la totalitat de superfície útil en coberta disponible arreu dels deu polígons industrials hem fet ús de l'aplicació web (visualitzador i localitzador) <http://atlantis.uab.cat/UPIC/visualitzador.jsp> [7], la qual permet identificar totes i cada una de les àrees industrials de Catalunya així com conèixer les dades més rellevants d'aquestes i aprofundir en la informació del immobles que les conformen (referència cadastral, superfície construïda, superfície del sòl, dades de la finca on està ubicat el bé immoble, etc.).

Arrel d'aquesta aplicació, el resultat del treball d'anàlisi de la informació pel que fa a l'àmbit de superfície de captació d'energia solar fotovoltaica està detallat en l'Annex B (en concret en l'apartat B.2). El resum de les dades més rellevants que son requisit per a poder dur a terme l'estudi energètic proposat es detalla en la Taula 6.1.

Com podem observar, d'un total de superfície útil disponible en cobertes de 1.733.599 m² hem considerat un total de 309 instal·lacions de 100 kW de potencia instal·lada, 104 instal·lacions de 50 kW, 52 instal·lacions de 30 kW i 56 instal·lacions de 10 kW.

Així, la capacitat productiva del conjunt de instal·lacions considerades i que conformen tot un entramat de petites centrals productores (concepte d'anell solar) és de 38,22 MW.



Id	Polígon	nº Parcel. (uds)	Sup. sòl (m²)	Sup. consid. (m²)	INST 10	INST 30	INST 50	INST 100	Potència instal·lada (kW)
1	La Llana	31	229.055	148.885	2	2	17	22	3.130,00
2	Crta. Rubí a Terrassa	26	178.103	115.766	6	5	5	19	2.360,00
3	Molí de la Bastida	34	173.552	112.808	11	20	5	16	2.560,00
4	Can Rosés	35	258.409	103.363	18	4	13	12	2.150,00
5	Sant Genís	24	268.851	174.753	2	3	10	35	4.110,00
6	Can Sant Joan	7	274.774	192.320	0	0	1	48	4.850,00
7	Cova Solera	66	467.791	304.064	5	7	24	49	6.360,00
8	Can Jardí	68	408.665	265.362	9	8	19	49	5.580,00
9	Ca n'Alzamora	38	58.876	38.269	3	3	5	4	770,00
10	Pi de Vilaroch (Rubí Sud)	26	427.707	278.009	0	0	5	61	6.350,00
TOTALS:		355	2.745.783	1.733.599	56	52	104	309	38.220,00

Taula 6.1. Quadre de instal·lacions que conformen el sistema solució

6.3. Presentació dels principals components del sistema

6.3.1. Laminats fotovoltaics i substrat

Independentment de les diferents modalitats d'instal·lacions presentades en l'apartat anterior, els diferents generadors fotovoltaics estaran conformats per mòduls de 10 kW de potència instal·lada, conformats, cada un d'aquests, per la corresponent distribució sèrie / paral·lel de laminats fotovoltaics UNI-SOLAR model PVL-144 de 144 Wp de potencia nominal.

Aquests tipus de laminats utilitzen cèl·lules solars de capa fina de triple unió, fetes de silici amorf i silici-germani. Cada cèl·lula absorbeix la llum blava, verda i vermella que prové del sol a través de les tres capes de la pròpia cèl·lula (veure Fig.6.1).



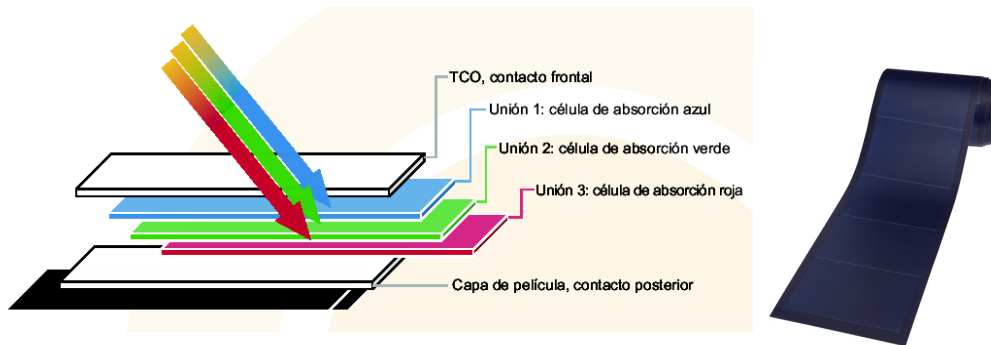


Fig. 6.1 Detall de lona PVL-144 de UNI-SOLAR

A diferència respecte als mòduls FV convencionals, aquests són flexibles, lleugers i no contenen vidre; aspectes molt importants donat que simplifica tan la instal·lació d'aquests a les cobertes com les accions de manteniment que s'hagin de dur a terme.

Les cèl·lules FV estan incrustades entre capes de materials d'encapsulament d'eficàcia provada. La superfície frontal està construïda en material ETFE (tetrafluorur d'etilè) durador (p. ex. Tefzel). Aquest polímer té gran capacitat de transmissió de la llum i permet una absorció òptima de la llum solar. Així, l'espectre de llum que incideix en la generació d'electricitat és major que per als mòduls de silici amorf convencionals (en la Fig. 6.2 es pot observar aquest efecte).

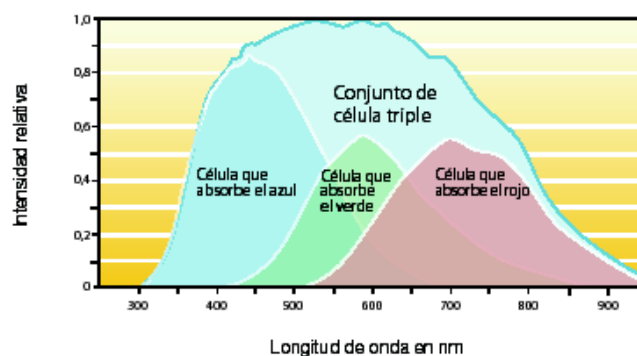


Fig. 6.2 Corba longitud d'ona - Intensitat relativa que incideix en generació elèctrica

El nombre i disposició sèrie/paral·lel dels laminats fotovoltaics per gada grup de 10 kW s'explica en detall en el proper apartat (7.1).

El conjunt de dades tècniques d'aquest model de laminats fotovoltaics els podem trobar en el full d'especificacions tècniques en l'Annex C.1.

Pel que fa al tipus de substrat que considerem per a la instal·lació de les lones, la solució que millor s'adapta a les nostres necessitats i/o prestacions a garantir és el mòdul TZ-SOL TECH de TECZONE SOLAR el qual es tracta d'un format de xapa amb base d'acer inoxidable lacat amb acabat GRANITE HDX i que ens permet adaptar la inclinació dels mòduls d'una manera molt senzilla i a baix cost (sense necessitat de incorporar estructures



addicionals que introdueixin més pes a l'estructura de l'edifici i més cost a nivell pressupostari). Aquest tipus de substrat està homologat per UNI-SOLAR un cop superats els diferents controls de qualitat, envelliment, etc. que permeten garantir l'adhesivitat de la lona per 25 anys. A continuació, a través de la Fig. 6.3, es mostra com es aquest tipus de substrat i com porta adherit el mòdul o lona fotovoltaica.



Fig. 6.3 Tipus de substrat que incorporen les lones.

6.3.2. Inversor

El model d'equip inversor escollit amb l'objectiu de convertir la corrent continua generada pels generadors fotovoltaics en corrent alterna ha estat el Fronius IG Plus 120 V-3 de 10 kW de potència nominal. Aquest equip està dissenyat per a la connexió de les instal·lacions fotovoltaïques a la xarxa elèctrica sense la necessitat d'incorporar un transformador d'aïllament addicional. Les principals característiques tècniques de l'equip inversor es mostren en la Taula 6.2. En l'Annex C i, en particular en l'apartat C.2, es mostren les especificacions tècniques al complet.

Dades Inversor - Fronius IG Plus 120 V-3			
Eficiència màx.	95,9%	Sortida (AC)	
Euroeficiència	95,4%	P_n (kW) con $\cos \varphi = 1$	10
Consum nocturn	< 1W	Intensitat Màxima (A)	14,5
Entrada (DC)		Potència Màxima (kVA)	10
Rang de tensió (V)	230 - 500 Vdc	Tensió (V_{ac})	400
Màx. Tensió (V)	600	Freqüència nominal (Hz)	50/60
Màx. Intens. (A)	46	Distorsió armònica (THD)	< 3%
P_{max} (kW) $\cos \varphi = 1$	10,59	Cos φ	0,85 - 1

Taula 6.2 Principals característiques tècniques Fronius IG Plus 120 V-3



6.3.3. Caixes de proteccions en CC

Aquestes caixes de proteccions de CC o equips de desconexió de generadors son les caixes on es connecten elèctricament els diferents ramals connectats en sèrie/paral·lel i tenen com a principal funció seccionar la instal·lació amb el doble objectiu de:

1. Facilitar feines de manteniment de la instal·lació.
2. Protegir la part de contínua de sobreintensitats i sobretensions

Per aquest doble motiu es fa necessari incorporar caixes de protecció situades abans de cada equip inversor. En el nostre cas considerarem dos caixes per a proteccions de contínua i aquestes es repartiran els següents components (la informació més detallada dels diferents components la podrem trobar en l'apartat C.3 de l'Annex C):

Caixa CC1:

- Quadre amb grau de protecció IP55 amb placa de muntatge, resistent a l'impacte, al calor intens i al foc. Disposaran de doble aïllament i compliran amb la norma IEC60670.
- Fusibles de 25 A de tipus gL (que compleixen les condicions descrites en l'apartat relatiu a les proteccions) per a totes les línies d'entrada.
- Descarregador contra sobretensions SOLARTEC PST31PV.
- Interruptor seccionador SOLARTEC A-5386PV0.
- Fusibles de 63 A de tipus gL per a la línia sortint.

Caixa CC2

- Quadre amb grau de protecció IP-30 mínim.
- Controlador permanent d'aïllament conformat per: vigilant model FAC650 i interruptor model INFAC; ambdós de la marca PROAT .
- Interruptor magnetotèrmic de tall model S802PV-S63 de dos pols de ABB (permet aïllar als inversors dels generadors fotovoltaics en el costat de continua).

6.3.4. Quadre de proteccions en AC

Aquest vindrà conformat per el conjunt de proteccions d'alterna que tindran per objectiu principal protegir la instal·lació entre la sortida de cada equip inversor i l'entrada a l'armari de mesura previ a la connexió amb xarxa de baixa tensió (en l'apartat C.4 de l'Annex C hi ha informació més detallada d'aquest tipus de proteccions per a alterna). Aquest estarà conformat principalment per (veure resum a Taula 6.3):

- Caixa de PVC amb placa de muntatge, resistent al impacte, al calor intens i al foc. Disposa de doble aïllament i compleix amb la norma IEC60670 [8].



- Connexions amb entrada per a les sortides de tots els inversors en trifàsica i sortida, també amb trifàsica amb neutre.
- Interruptor magnetotèrmic model S204-C20 de quatre pols de la marca ABB per cada línia sortint de l'equip inversor.
- Interruptor diferencial model F204 AC-25/0.3 de quatre pols amb sensibilitat 300 mA (marca ABB) per cada línia sortint de l'equip inversor.
- Grup protecció magnetotèrmic-diferencial per al conjunt de la instal·lació general dependent del tipus/magnitud d'aquesta:

	Potència (kW)	I _N (A)	Interr. Magn.	Bloc diferen.	I _N (A)	Marca
INST10	10	20	S204U-K20	DDA 200 AC	25	ABB
INST30	30	60	S204U-K60	DDA 200 AC	63	ABB
INST50	50	80	S294U-K80	DDA 60 AC	100	ABB
INST100	100	160	T1B 160 TMD160-1600 4p F FC Cu (1×70mm ²)	RC221	160	ABB

Taula 6.3 Grup de protecció magnetotèrmic i diferencial

6.3.5. Armari de mesura

Anirà situat proper a la caixa de proteccions d'alterna però en la part exterior de la nau de manera que sigui accessible per la companyia elèctrica.

Estarà compostat per:

- Armari de polièster premsat en calent reforçat amb fibra de vidre. Disposa d'una placa base de muntatge dels equips a muntar, amb vel protector i finestreta per a l'accionament del magnetotèrmic i diferencial.
- Interruptor general frontera: Interruptor automàtic magnetotèrmic. Ha de ser accessible per l'empresa distribuïdora.
- Interruptor Diferencial amb sensibilitat de 300 mA.
- Comptador bidireccional.
- Transformadors de intensitat per a la mesura de Energia.
- Tres fusibles de fase i un element amovible per al conductor neutre.



7. Disseny de les instal·lacions

7.1. Sistema de generació i adaptació a xarxa de BT

A l'hora de dimensionar qualsevol instal·lació fotovoltaica el primer que hem de dimensionar es el grup inversor o grups inversors de la mateixa; s'ha de partir de l'ordre de magnitud dels kilowatts a instal·lar a nivell de generació i, si el que es desitja es realitzar una instal·lació fotovoltaica de 100 kW de potencia instal·lada, el grup inversor haurà de ser del mateix ordre de magnitud (100 kW). En el cas de grup d'inversors, la suma de potència de tots ells haurà de ser igual a la totalitat de potència instal·lada.

Donat que en el nostre cas realitzarem diferents tipus de instal·lacions, totes elles múltiples de 10 kW, cada instal·lació comptarà amb un nombre diferent d'inversors d'aquesta mateixa potència nominal. A continuació s'indica el nombre d'inversors considerat en cada cas:

- **INST10 → 10 kW: 1 grups inversors de 10 kW**
- **INST30 → 30 kW: 3 grups inversors de 10 kW**
- **INST50 → 50 kW: 5 grups inversors de 10 kW**
- **INST100 → 100 kW: 10 grups inversors de 10 kW**

Un factor important a tenir present son les constants de temperatura. Aquestes constants indiquen les variacions de la corrent de curtcircuit (I_{SC}), de la tensió en circuit obert (V_{OC}) i la potència (P) que pateix la lona en funció de la temperatura que aquesta adquireix. Per a dimensionar el generador correctament, s'han de conèixer aquestes constants, les quals es mostren en el full d'especificacions tècniques de les pròpies lones (Annex C.1). Coneixent el valor d'aquestes constants, es pot saber com variaran les característiques de la pròpia lona en funció de la seva temperatura, aplicant les següents fórmules:

Les constants de temperatura que apareixen en els fulls d'especificacions dels mòduls fotovoltaics es donen per circuit obert i per a curtcircuit, doncs son els valors crítics amb els

$$V_{Treal} = V_{25^{\circ}C} + \frac{T_{K(V_{OC})} \times (T_{real} - 25^{\circ}C)}{1000} \quad (\text{Eq. 7.1})$$

$$I_{Treal} = I_{25^{\circ}C} \times \left(1 + \frac{T_{K(I_{SC})} \times (T_{real} - 25^{\circ}C)}{1000}\right) \quad (\text{Eq. 7.2})$$

$$P_{Treal} = P_{25^{\circ}C} \times \left(1 + \frac{T_{K(P)} \times (T_{real} - 25^{\circ}C)}{1000}\right) \quad (\text{Eq. 7.3})$$



que es realitzen els càlculs. A més a més, aquestes també es poden utilitzar per a calcular la tensió en el punt de màxima potència (V_{mpp}) i corrent en el punt de màxima potència (I_{mpp}).

Atenent a la situació geogràfica en la que es proposa la implantació de les diferents instal·lacions fotovoltaïques, considerem que la temperatura que poden assolir les cèl·lules de captació oscil·la entre -10°C i 70°C com a valors extrems. Prenent aquestes temperatures com a valors extrems i aplicant les fórmules indicades obtenim els resultats indicats en la taula següent:

PVL-144			
T($^{\circ}\text{C}$)	25	70	-10
V_{OC} (V)	46,2	38,30	52,34
V_{mpp} (V)	33	28,40	36,58
I_{SC} (A)	5,3	5,54	5,11
P (W)	144	130,39	154,58

Taula 7.1. Característiques dels laminats fotovoltaïcs PVL-144

Criteris que es segueixen per a dimensionar el generador fotovoltaic:

- La tensió del generador fotovoltaic ha d'apropar-se el més possible al màxim valor de tensió d'entrada de l'inversor per a obtenir el rendiment més alt del sistema.
- Es calcula el nombre màxim i mínim de panells en sèrie que admet l'inversor. S'escull el valor màxim sempre que aquest sigui més gran que el mínim. En cas contrari, s'haurà de canviar el disseny de la instal·lació.
- Es posa el màxim nombre de ramals en paral·lel que pot aguantar l'inversor tenint en compte no sobrepassar la potència màxima que admet l'inversor.
- No es pot sobrepassar mai la intensitat màxima d'entrada que permet l'inversor.

Per a calcular el nombre de lones / laminats a connectar en sèrie, es realitza el càlcul del nombre màxim i mínim d'aquestes que necessita l'inversor per a funcionar correctament. Per a aconseguir el valor màxim, s'ha d'escollir el valor més petit entre el nombre màxim de mòduls que pot admetre l'inversor considerant sempre la seva tensió màxima d'entrada, o també considerant el valor màxim del seu rang de tensions en el punt de màxima potència.

En el primer cas, es realitza la divisió de la tensió màxima d'entrada ($V_{ccm\acute{a}x}$) que suporta l'inversor entre la tensió de curtcircuit del laminat a -10°C ($V_{OC(-10^{\circ}\text{C})}$), donat que per a aquesta temperatura el valor de la tensió es més gran:



$$N^{\circ}_{m\acute{a}x.serie1} = \frac{V_{ccm\acute{a}x}}{V_{oc(-10)}} = \frac{600}{52,34} = 11,46 \rightarrow 11 \quad (\text{Eq. 7.4})$$

En el segon cas es realitza la divisió del valor màxim del rang de tensions en el punt de màxima potència (VFV_{sup}) de l'inversor entre la tensió en el punt de màxima potència de la lona a -10°C ($V_{mpp(-10)}$), donat que per a la temperatura en qüestió, la tensió pren el valor més gran:

$$N^{\circ}_{m\acute{a}x.serie2} = \frac{VFV_{sup}}{V_{mpp(-10)}} = \frac{500}{36,58} = 13,67 \rightarrow 13 \quad (\text{Eq. 7.5})$$

D'aquesta manera, el nombre màxim de mòduls en sèrie que admet l'inversor es el nombre més petit del dos valors obtinguts anteriorment; és a dir, **onze**.

$$\text{MIN} \left\{ \frac{V_{ccm\acute{a}x}}{V_{oc(-10)}}, \frac{VFV_{sup}}{V_{mpp(-10)}} \right\} = \{11,13\} = 11 \quad (\text{Eq. 7.6})$$

Per altra costat, el nombre mínim de lones admeses per l'inversor es calcula a partir del valor mínim del rang de tensions en el punt de màxima potència (VFV_{inf}) de l'inversor, dividint aquest entre la tensió en el punt de màxima potència del mòdul a 70°C ($V_{mpp(+70)}$) atenent que per a aquesta temperatura la tensió pren el valor més petit:

$$N^{\circ}_{min.serie} = \frac{VFV_{inf}}{V_{mpp(+70)}} = \frac{230}{28,40} = 8,1 \rightarrow 8 \quad (\text{Eq. 7.7})$$

Pel que fa al nombre de ramals a connectar en paral·lel haurà de ser el valor màxim que permeti l'inversor. Aleshores, haurem de dividir la potència màxima que admet l'inversor a l'entrada entre la potència d'un ramal de 11 lones connectats en sèrie (calculat en punt anterior) a -10°C (valor de temperatura en que la potència pren el valor més gran). D'aquesta forma serà:

$$N^{\circ}_{Paral.lel} = \frac{P_{m\acute{a}x}}{N^{\circ}Serie \times P_{(-10)}} = \frac{10.590}{11 \times 154,58} = 6,23 \rightarrow 6 \quad (\text{Eq. 7.8})$$

Per a poder confirmar que aquest valor es correcte, hem de verificar que no sobrepassem la intensitat màxima d'entrada que permet l'inversor. Per això, s'agafa la I_{SC} a 70° , donat que es a la temperatura a la que la corrent de curtcircuit pren el valor més gran i



comprovem que tots els ramals en paral·lel no excedeixen el valor màxim d'entrada a l'inversor:

$$I_{M\acute{a}x} \geq N^{\circ} \text{Paral.lel} * I_{SC(70^{\circ}C)} = 6 * 5,54 = 33,24 \quad (\text{Eq. 7.9})$$

$$I_{M\acute{a}x} \geq N^{\circ} \text{Paral.lel} * I_{SC(70^{\circ}C)} = 7 * 5,54 = 38,78 \quad (\text{Eq. 7.10})$$

$$I_{M\acute{a}x} \geq N^{\circ} \text{Paral.lel} * I_{SC(70^{\circ}C)} = 8 * 5,54 = 44,32 \quad (\text{Eq. 7.11})$$

$$I_{M\acute{a}x} \geq N^{\circ} \text{Paral.lel} * I_{SC(70^{\circ}C)} = 9 * 5,54 = 49,86 \quad (\text{Eq. 7.12})$$

Essent $I_{M\acute{a}x} = 46$ A, el nombre màxim de ramals en paral·lel serien vuit però donat que segons l'equació 7.8 ens han sortit sis, agafem el valor menor entre ambdós, és a dir, sis.

D'aquesta manera, per a una instal·lació de 100 kW de potència instal·lada a nivell de generació elèctrica, el nostre sistema vindria conformat per 10 grups inversors amb cada grup inversor conformat per 6 ramals en paral·lel, dels quals cada un anirà constituït per 11 lones en sèrie. El que ve a ser un total de 660 lones.

D'aquesta manera, les instal·lacions vindran conformades, pel que fa a grups de generació energètica i adaptació a corrent alterna, de la manera que es mostra en la Taula 7.2.

	INST100	INST50	INST30	INST10
Nº Inversors	10	5	3	1
Nº Sèrie	11	11	11	11
Nº Paral·lel	6	6	6	6
Total lones	660	330	198	66
$P_{\text{nominal gener. (W)}}$	95.040 W	47.520 W	28.512 W	9.504 W

Taula 7.2. Configuració Sèrie - Paral·lel de les diferents instal·lacions



7.2. Cablejat

Les instal·lacions solars fotovoltaïques projectades es divideixen en diferents trams en funció de la secció de conductors i/o càrrega que circula per cada tram.

S'estableixen quatre trams diferenciats en les diferents instal·lacions: dos d'ells per a corrent continua i altres dos per a corrent alterna.

Per als trams de corrent continua s'utilitzen conductors de tipus 0,6/1kV de coure amb aïllament en PVC. El tipus de instal·lació es de conductors aïllats en tubs o canals en muntatge superficial o encastats en obra segon la definició del REBT en la norma ITC-BT-19 [9] (veure naturalesa de l'aïllament en funció dels conductors en Fig. 7.1).

A		Conductores aislados en tubos empotrados en paredes aislantes.	3x PVC	2x PVC	3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR							
A2		Cables multiconductores en tubos empotrados en paredes aislantes.	3x PVC	2x PVC	3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR							
B		Conductores aislados en tubos en montaje superficial o empotrados en obra.			3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR				
B2		Cables multiconductores en tubos en montaje superficial y empotrados en obra.		3x PVC	2x PVC	3x XLPE o EPR		2x XLPE o EPR					
C		Cables multiconductores directamente sobre la pared.			3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR				
E		Cables multiconductores al aire libre. Distancia a la pared no inferior a 0,30				3x PVC		2x PVC	3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR			
F		Cables unipolares en contacto mutuo. Distancia a la pared no inferior a D.					3x PVC				3x XLPE o EPR		
G		Cables unipolares separados mínimo D.							3x PVC			3x XLPE o EPR	
Cobre		mm ²	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	1,5	11	11,5	13	13,5	15	16	-	18	21	24	-	-
	2,5	15	16	17,5	18,5	21	22	-	25	29	33	-	-
	4	20	21	23	24	27	30	-	34	38	45	-	-
	6	25	27	30	32	36	37	-	44	49	57	-	-
	10	34	37	40	44	50	52	-	60	68	76	-	-
	16	45	49	54	59	66	70	-	80	91	105	-	-
	25	59	64	70	77	84	88	96	106	116	123	166	-
	35		77	86	96	104	110	119	131	144	154	205	-
	50		94	103	117	125	133	145	159	175	188	250	-
	70				149	160	171	188	202	224	244	321	-
	95				180	194	207	230	245	271	296	391	-
	120				208	223	240	267	284	314	348	455	-
	150				236	250	278	310	338	363	404	525	-
	185				268	287	317	354	386	415	464	601	-
	240				315	330	374	419	455	490	552	711	-
300				360	404	423	484	524	565	640	821	-	

Fig 7.1: Intensitats admissibles (A) al aire 40°C. Nombre de conductors amb càrrega i naturalesa de l'aïllament.

Les instal·lacions de les canals protectores on aniran allotjats els conductors del circuit es durà a terme d'acord amb la norma ITC-BT-21 [10]:

→ La instal·lació de les canals protectores hauran de complir amb la norma UNE 20.460-5-52 [11] i amb les instruccions ITC-BT-19 [9] y ITC-BT-20 [12].



- El traçat de les canalitzacions es duran a terme seguint preferentment línies verticals i horitzontals o paral·leles a les arestes de les parets del local.
- Les canals amb conductivitat elèctrica s'han de connectar a xarxa de terres de manera que la continuïtat elèctrica quedi convenientment assegurada.
- No es podran utilitzar les canals com a conductors de protecció o de neutre, a excepció de lo disposat en la Instrucció ITC-BT-18 [13] per a canalitzacions prefabricades.
- La tapa de les canal quedará sempre accessible.

S'ha optat per canals marca UNEX, model 66U23X aïllants amb tapa de PVC M1 per les seves bones característiques tècniques (veure representació de la canal en Fig. 7.2):

- Protecció contra contactes directes i indirectes.
- Sense necessitat de connexió a terra.
- Evita intensitats de fuga, curtcircuits amb les safates i arcs elèctrics.
- El tall de la safata no produeix arestes que perjudiqui l'aïllament dels conductors.



Fig. 7.2. Canaletes UNEX, model 66U23X

Per al càlcul de la secció en els trams de corrent continua s'utilitzarà la equació (Eq.7.13):

$$s = \frac{2 \cdot L \cdot I_{cc}}{u \cdot C} \quad (\text{Eq. 7.13})$$

on: "s" es la secció teòrica del conductor en [mm²]; "L" es la longitud del conductor [m]; "I_{cc}" es la corrent màxima que circularà pels conductors i es la de curtcircuit dels laminats fotovoltaics [A]; "u" es la caiguda de tensió [V] màxima que pot haver en els conductors. Segons el Plec de Condicions Tècniques de l'IDAE [14], la màxima caiguda de tensió permesa en conductors de continua es del 1,5%. "C" es la conductivitat de l'element que



forma el conductor; en aquest cas sempre s'utilitzarà coure i la seva conductivitat és $56\text{m}/\Omega\cdot\text{mm}^2$.

En el darrer tram de la instal·lació on ja s'ha dut a terme la conversió de potència continua a alterna, la instal·lació del cablejat serà diferent. En aquest tram els conductors de tipus 0,6/1kV estaran soterrats, seran de coure amb aïllament de PVC i el disseny es basarà en la norma ITC-BT-07 [15] per a xarxes subterrànies per a distribució en baixa tensió (veure Fig.7.3; en aquesta es ressalta en vermell el tipus de cable tripolar o tetrapolar amb un aïllament de PVC).



SECCIÓN NOMINAL mm ²	Tema de cables unipolares (1) (2)			1cable tripolar o tetrapolar (3)		
						
	TIPO DE AISLAMIENTO					
	XLPE	EPR	PVC	XLPE	EPR	PVC
6	72	70	63	66	64	56
10	96	94	85	88	85	75
16	125	120	110	115	110	97
25	160	155	140	150	140	125
35	190	185	170	180	175	150
50	230	225	200	215	205	180
70	280	270	245	260	250	220
95	335	325	290	310	305	265
120	380	375	335	355	350	305
150	425	415	370	400	390	340
185	480	470	420	450	440	385
240	550	540	485	520	505	445
300	620	610	550	590	565	505
400	705	690	615	665	645	570
500	790	775	685	-	-	-
630	885	870	770	-	-	-

Fig 7.3.: Intensitat màxima (A) admissible per a cables amb conductors de coure en instal·lació soterrada

En aquest tram el cablejat serà trifàsic de manera que la secció teòrica mínima que s'utilitzarà en els conductors vindrà donada per la següent equació:

$$s = \frac{\sqrt{3} \cdot L \cdot I \cdot \cos \varphi}{u \cdot C} = \frac{L \cdot P}{C \cdot u \cdot U_L} \quad (\text{Eq. 7.14})$$

on: "s" es la secció teòrica del conductor en [mm²]; "L" es la longitud del conductor [m], "P" es la potència màxima que transporta el cable [W]. "u" es la caiguda de tensió [V] màxima que pot haver en els conductors. Segons el Plec de Condicions Tècniques de l'IDAE [14], la màxima caiguda de tensió permesa en conductors d'alterna es del 2%.

"C" es la conductivitat de l'element que forma el conductor; en aquest cas sempre s'utilitzarà coure i la seva conductivitat és $56\text{m}/\Omega\cdot\text{mm}^2$ i "U_L" es la tensió de línia de la xarxa [V].



Trams de cablejat:**1. Mòduls solars → Caixa de connexió / desconexió de grup**

Estarà compres entre la sortida de cada un dels ramals del generador connectats en sèrie i una caixa de connexió de grup on arribaran les sortides dels ramals de mòduls connectats en paral·lel. A aquesta caixa de connexió de grup s'allotjaran els elements encarregats de la protecció de cada un dels ramals per separat i les proteccions del cablejat de interconnexió dels diferents grups generadors. A les caixes de connexió de grup arribaran 12 conductors: 6 corresponents als pols positius de cada ramal i 6 corresponents als pols negatius de cada ramal; i sortiran 2 conductors, un de polaritat negativa i altra de polaritat positiva.

En aquest tram, la secció de cablejat ens ve donada, doncs les lones incorporen el cablejat de connexió amb una secció de 4 mm².

Per a poder veure si aquesta secció ens permet complir amb la caiguda màxima de tensió segons el Plec de Condicions Tècniques de l'IDAE [14] ($\leq 1.5\%$), utilitzarem la mateixa equació 6.13 amb els següents paràmetres:

"L": Es considerarà com a longitud de conductor la distància del mòdul més allunyat fins a la seva caixa de connexió, 25 m.

"I_{cc}": Es la intensitat màxima que circularà pels conductors i correspon amb la de curtcircuit dels mòduls [A]. Cada ramal subministrarà una intensitat màxima igual a la de curtcircuit de cada un dels mòduls que el formen, 5,3 A.

"u": Es la caiguda de tensió [V] que com a màxim poden tindre els conductors. En aquest tram existirà una tensió igual a la tensió de punt de màxima potència de cada lona V_{mpp} = 33 V, multiplicat pel nombre de lones en sèrie que formen cada ramal, 11 lones. Així la tensió en aquest tram serà de 33 V x 11 lones = 363 V.

"C": es la conductivitat de l'element conductor. En aquest cas, 56 m/Ω*mm².

$$s = \frac{2 \cdot L \cdot I_{cc}}{u \cdot C} \quad u = \frac{2 \cdot L \cdot I_{cc}}{s \cdot C} = \frac{2 \cdot 25 \cdot 5,3}{4 \cdot 56} = 1,183$$

$$u = x \cdot 363 \quad x = 0,0033 \rightarrow x = 0,33\% \leq 1,5\%$$

Com podem observar, la caiguda de tensió obtinguda està per sota del 1.5% de manera que complim amb aquesta condició.

Per altra banda, d'acord amb la Taula 7.1 extreta de la norma ITC-BT-19 [9], la intensitat màxima admissible del conductor del tipus 0,6/1kV de 4 mm², amb aïllament PVC i instal·lació de conductors aïllats en tubs o canals en muntatge superficial o encastats en obra, es de 27 A; valor superior a la màxima intensitat que circularà pels



conductors d'aquest tram que serà de 5,3 A. Així, el conductor de 4 mm² el podem donar com a vàlid.

2. Caixa de connexió de grup → Quadre inversor

Estarà compres entre la caixa de connexió de grup de on sortiran els dos conductors principals que transportaran la potencia generada fins a l'entrada de l'inversor.

A l'inversor arribaran dos conductors, un positiu i un altra negatiu corresponent al final del circuit de corrent continua; la sortida de l'inversor correspon amb el darrer tram el qual ja es de corrent alterna.

"L": Es considerarà com a longitud entre la caixa de connexió i la corresponent caixa precedent a grup inversor. En aquest cas considerarem 75 m.

"I_{cc}": Es la intensitat màxima que circularà pels conductors i correspon amb la de curtcircuit dels mòduls [A]. Cada ramal subministrarà una intensitat màxima igual a la de curtcircuit de cada un dels mòduls que el formen, 5,3 A, però en aquest tram s'uneixen 6 ramals en paral·lel, de forma que la intensitat màxima que circularà pels conductors serà de 5,3 x 6 = 31,8 A

"u": Es la caiguda de tensió [V] que com a màxim poden tindre els conductors. En aquest tram existirà una tensió igual a la tensió de punt de màxima potencia de cada lona V_{mpp} = 33 V, multiplicat pel nombre de lones en sèrie que formen cada ramal, 11 lones. Així la tensió en aquest tram serà de 33 V x 11 lones = 363 V.

"C": es la conductivitat de l'element conductor. En aquest cas, 56 m/Ω*mm².

$$s = \frac{2 \cdot L \cdot I_{cc}}{u \cdot C} \quad s = \frac{2 \cdot 75 \cdot 31,8}{0,015 \cdot 363 \cdot 56} = 15,64 \text{ mm}^2 \longrightarrow s = 16 \text{ mm}^2$$

D'acord amb la taula 7.1, la intensitat màxima admissible del conductor del tipus 0,6/1kV de 16 mm², amb aïllament PVC i instal·lació de conductors aïllats en tubs o canals en muntatge superficial o encastrats en obra, es 66 A; valor superior a la màxima intensitat que circularà pels conductors d'aquest tram que serà de 31,8 A. Així, el conductor de 16 mm² de secció per a aquest tram el podem donar com a vàlid.

En aquest cas no es necessari aplicar cap tipus de coeficient de correcció doncs considerarem que la temperatura ambient pot arribar a ser de 40°C tal com es considera en Taula 7.1.

3. Inversor → Quadre d'Alterna

Tram compres entre la sortida trifàsica de l'inversor fins al quadre d'alterna; punt on es connectaran tots els grups generador-inversor amb l'objectiu de proporcionar a través d'una sola línia trifàsica tota la potència generada pel conjunt de generadors. Els



paràmetres per al càlcul de la secció mínima dels conductors d'aquest tram de corrent alterna son:

"L": es la longitud del conductor [m]. Es prendrà com a longitud del cable, la distancia entre la sortida dels grups inversors i el quadre general d'alterna on es connectaran els diferents grups generador-inversor. Distancia considerada = 60 m.

"P": es la potencia màxima que transporta el cable [W]. Serà la potencia alterna màxima que pot entregar l'inversor a la seva sortida, 10.000 W.

" U_L ": es la tensió de línia de la xarxa [V]. A la sortida de l'inversor la tensió serà constant amb valor 400 V.

"u": es la caiguda de tensió [V] que com a màxim podran tindre els conductors. Segons el Plec de Condicions Tècniques de IDAE [14], la màxima caiguda de tensió permesa en conductors d'alterna es del 2%. A la sortida de l'inversor existirà una tensió alterna constant de 400 V, de manera que la caiguda de tensió màxima admissible en aquest tram serà de $u = 0,02 \times 400V = 8 V$.

"C": es la conductivitat de l'element conductor. En aquest cas, $56 \text{ m}/\Omega \cdot \text{mm}^2$.

$$s = \frac{\sqrt{3} \cdot L \cdot I \cdot \cos \varphi}{u \cdot C} = \frac{L \cdot P}{C \cdot u \cdot U_L} = \frac{60 \cdot 10000}{56 \cdot 8 \cdot 400} = 3,34 \text{ mm}^2 \longrightarrow s = 4 \text{ mm}^2$$

La corrent que circularà de l'inversor fins al quadre d'alterna vindrà donada per la potencia màxima que pot donar l'inversor, 10 kW i la tensió a la qual treballa aquest, 400V.

Si calculem la intensitat que por sortir de l'inversor, aquesta resulta:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_L \cdot \cos \varphi} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.85} = 16,98 A$$

Si mirem de nou a la Fig 7.3, el valor de del conductor del tipus 0,6/1kV de 4 mm^2 , amb aïllament PVC i instal·lació de conductors aïllats en tubs o canals en muntatge superficial o encastats en obra, es de 24 A; valor superior a la màxima intensitat que circularà pels conductors d'aquest tram que serà de 16,98 A. Així, el conductor de 4 mm^2 de secció per a aquest tram el podem donar com a vàlid.

En aquest cas tampoc es fa necessari aplicar cap tipus de coeficient de correcció doncs considerarem que la temperatura ambient pot arribar a ser de 40°C .

4. Quadre Alterna → Punt de connexió

Aquest tram estarà comprès entre el quadre d'alterna i el propi punt de connexió en baixa tensió. Al propi quadre d'alterna arriben totes les línies trifàsiques provinents de cada un dels equips inversors i la sortida es una única línia trifàsica a connectar amb la



caseta de mesuradors en primer lloc i posterior punt de connexió amb xarxa de baixa tensió.

Els paràmetres per al càlcul de la secció mínima dels conductors d'aquest tram de corrent alterna son:

"L": es la longitud del conductor [m]. Es prendrà com a longitud del cable, la distància entre el propi quadre d'alterna i el punt de connexió a xarxa de baixa tensió. Distància considerada = 60 m.

"P": es la potència màxima que transporta el cable [W]. Serà la potència alterna màxima que poden entregar el conjunt d'inversors a la sortida, 100.000 W.

" U_L ": es la tensió de línia de la xarxa [V]. A la sortida de l'inversor la tensió serà constant amb valor 400 V.

"u": es la caiguda de tensió [V] que com a màxim podran tindre els conductors. Segons el Plec de Condicions Tècniques de IDAE [14], la màxima caiguda de tensió permesa en conductors d'alterna es del 2%. A la sortida de l'inversor existirà una tensió alterna constant de 400 V, de manera que la caiguda de tensió màxima admissible en aquest tram serà de $u = 0,02 \times 400V = 8 V$.

"C": es la conductivitat de l'element conductor. En aquest cas, $56 \text{ m}/\Omega \cdot \text{mm}^2$.

Al igual que en el cas anterior, la secció la podrem calcular d'acord amb:

$$s = \frac{\sqrt{3} \cdot L \cdot I \cdot \cos \varphi}{u \cdot C} = \frac{L \cdot P}{C \cdot u \cdot U_L} = \frac{60 \cdot 100000}{56 \cdot 8 \cdot 400} = 33,48 \text{ mm}^2 \longrightarrow s = 35 \text{ mm}^2$$

La intensitat que circularà pel darrer tram de connexió a xarxa de baixa tensió vindrà donat per la potència màxima que el grup d'inversors pot entregar a la xarxa, és a dir 100 kW considerant una tensió de connexió de 400V i un factor de potència igual a la unitat d'acord amb el Plec de Condicions Tècniques de IDAE [14]. Així la corrent que circularà per aquest tram serà:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_L \cdot \cos \varphi} = \frac{100000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 1} = 144,34 \text{ A}$$

En aquest darrer tram, el valor de corrent màxima admissible per cables tripolars o tetrapolars tipus 0,6 /1kV de secció 35 mm^2 soterrat amb aïllament en PVC segons mostra la taula de la Fig. 7.3 extreta de la norma ITC-BT-07 [15] es de 150 A. En principi aquest valor està per sobre de la intensitat calculada, però a aquest valor se li han d'aplicar una sèrie de coeficients de reducció degut a que les condicions a les que pot trobar-se no son iguals a les que es basen les taules de la norma:



- Al estar soterrat sota tub, la capacitat de transport dels conductors baixa al no poder evacuar bé la calor motivat pel pas de la corrent a través d'ells; per aquest motiu s'ha d'aplicar un factor de reducció sobre el valor de la corrent admissible pel conductor de 0,8.
- El factor de temperatura del terreny s'ha de tindre en compte si es diferent de 25°C segons la taula següent de la norma ITC-BT-07 [15]:

Temperatura de servicio θ_s (°C)	Temperatura del terreno, θ_t , en °C								
	10	15	20	25	30	35	40	45	50
90	1.11	1.07	1.04	1	0.96	0.92	0.88	0.83	0.78
70	1.15	1.11	1.05	1	0.94	0.88	0.82	0.75	0.67

Fig 7.4 Coeficient per temperatura del terreny

Al ser l'aïllament de PVC, la temperatura de servei es de 70°C, i si es considera que la temperatura del terreny pot ser aproximadament de 30°C, el coeficient que s'aplicarà a la corrent admissible pel conductor serà, 0,94 (veure Fig. 7.4).

- La profunditat a la que es soterraren els conductors també suposa una disminució en la capacitat de transport dels mateixos; en base a aquest fet, el coeficient es pot extreure de la següent taula extreta també de la norma ITC-BT-07 [15]:

Profundidad de instalación (m)	0,4	0,5	0,6	0,7	0,80	0,90	1,00	1,20
Factor de corrección	1,03	1,02	1,01	1	0,90	0,98	0,97	0,95

Fig 7.5 Coeficient degut a la profunditat de soterrament

Si considerem que la profunditat de la instal·lació es de 0,5 m, el coeficient a aplicar sobre la intensitat admissible pel conductor seria 1,02 (Fig.7.5).

D'aquesta manera, la intensitat màxima admissible pel conductor de 35 mm² sota les condicions indicades serà:

$$I_{\text{Admissible}} = 150\text{A} \times 0,8 \times 0,94 \times 1,02 = 115,06 \text{ A}$$

Valor que resulta ser inferior al valor de intensitat màxima que circularà pel tram, de forma que s'haurà d'optar per una secció superior; en aquest cas, 70 mm² que en aplicar els diferents coeficients correctors al valor que el pertoca com a intensitat (220 A), resulta un valor superior al valor de corrent màxima que circularà per aquest tram. Així, el conductor tipus 0,6/1kV de secció 70 mm² amb aïllament de PVC serà vàlid per al tram.



$$I_{\text{Admissible}} = 220\text{A} \times 0,8 \times 0,94 \times 1,02 = 168,75 \text{ A} > 144,34\text{A}$$

Al igual que hem fet per a una potencia total de 100 kW, haurem de fer per a les altres tres tipus de instal·lacions (10, 30 i 50 kW). A continuació indiquem el quadre resum (Taula 7.3) per a tots els casos:

	$s = \frac{\sqrt{3} \cdot L \cdot I \cdot \cos\varphi}{u \cdot C}$	$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_L \cdot \cos\varphi}$	$I_{\text{Admiss. (A)}}$	$I'_{\text{Admissible (A)}}$	S'
INST10	3,34 → 6 mm ²	14,4 A	56 A	42,96 A	6 mm ²
INST30	10,04 → 16 mm ²	43,3 A	97 A	74,40 A	16 mm ²
INST50	16,74 → 25 mm ²	72,17 A	125 A	95,88 A	25 mm ²
INST100	33,48 → 35 mm ²	144,34 A	150 A	115,06	70 mm ²

Taula 7.3 Secció dels conductors per al darrer tram d'alterna

7.3. Cablejat de protecció

Per a la protecció de les instal·lacions i dels possibles operaris encarregats del manteniment de les mateixes, el Reglament Electrotècnic de Baixa Tensió estableix que s'han de connectar correctament totes les masses metàl·liques d'una instal·lació a terra, amb l'objectiu d'aconseguir que en el conjunt d'instal·lacions, edificis i superfície pròximes al terreny no es donin diferències de potencial perilloses al mateix temps que ens permeti derivar a terra intensitats de defecte o possibles descàrregues d'origen atmosfèric.

Segons la norma ITC-BT-18 [13] del REBT, els conductors de protecció hauran de ser del mateix material que els conductors actius utilitzats en les instal·lacions; en aquest cas seran de coure i aniran allotjats en la canalització utilitzada per als conductors actius de les instal·lacions. La secció dels conductors de protecció vindrà donada per la taula següent (Fig. 7.6):

Sección de los conductores de fase de la instalación S (mm ²)	Sección mínima de los conductores de protección S_p (mm ²)
$S \leq 16$	$S_p = S$
$16 < S \leq 35$	$S_p = 16$
$S > 35$	$S_p = S/2$

Fig 7.6: Relació entre les seccions dels conductores de protecció i els de fase.

D'aquesta manera, els conductors de protecció tindran diferent secció depenent del tram de cablejat al qual pertanyin:



1- Mòduls solars → Caixa de connexió/desconnexió de grup

$$S_{\text{CONDUCTORS DE FASE}} = 4 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{\text{CONDUCTOR DE PROTECCIÓ}} = 4 \text{ mm}^2$$

2- Caixa de connexió de grup → Quadre inversor

$$S_{\text{CONDUCTORS DE FASE}} = 16 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{\text{CONDUCTOR DE PROTECCIÓ}} = 16 \text{ mm}^2$$

3- Inversor → Quadre d'Alterna

$$S_{\text{CONDUCTORS DE FASE}} = 4 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{\text{CONDUCTOR DE PROTECCIÓ}} = 4 \text{ mm}^2$$

4- Quadre Alterna → Punt de connexió

$$\text{CAS INST10: } S_{\text{CONDUCTORS DE FASE}} = 6 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{\text{CONDUCTOR DE PROTECCIÓ}} = 6 \text{ mm}^2$$

$$\text{CAS INST30: } S_{\text{CONDUCTORS DE FASE}} = 16 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{\text{CONDUCTOR DE PROTECCIÓ}} = 16 \text{ mm}^2$$

$$\text{CAS INST50: } S_{\text{CONDUCTORS DE FASE}} = 25 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{\text{CONDUCTOR DE PROTECCIÓ}} = 25 \text{ mm}^2$$

$$\text{CAS INST100: } S_{\text{CONDUCTORS DE FASE}} = 70 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{\text{CONDUCTOR DE PROTECCIÓ}} = 35 \text{ mm}^2$$

7.4. Proteccions

Per a garantir seguretat tant als equips que formen les instal·lacions solars fotovoltaïques com a les persones encarregades del seu manteniment i correcta operació, es necessari proporcionar una sèrie d'elements de protecció que assegurin una explotació correcta de la instal·lació.

Al igual que per al càlcul del cablejat, el càlcul de proteccions es farà de forma independent per a cada un dels circuits que formen les instal·lacions, diferenciant entre trams de corrent continua i alterna, ja que les proteccions hauran de ser diferents per a cada tram depenent de la naturalesa continua o alterna del tram i el valor de corrent admissible pels conductors.

Tot i que els fusibles i interruptors per a corrent continua son diferents als de corrent alterna, el càlcul es similar; segons la norma ITC-BT-22 [16] del Reglament Electrotècnic de Baixa Tensió, un dispositiu protegeix contra sobrecàrregues a un conductor si es verifiquen les següents condicions:

- $I_B \leq I_N \leq I_Z$
- $I_2 \leq 1,45 \times I_Z$

on:



I_B es la corrent d'utilització, I_N e la corrent del dispositiu de protecció, I_Z es la corrent màxima admissible per l'element a protegir i I_2 es la corrent convencional de funcionament del dispositiu de protecció (fusió dels fusibles i disparo dels interruptors automàtics).

En la protecció per magnetotèrmic normalitzat es compleix sempre la segona condició ($I_2 \leq 1,45 \times I_Z$), pel que només s'haurà de verificar la primera.

En la protecció per fusible tipus gG, es compleix que $I_2 = 1,6 \times I_N$ pel que s'han de verificar les condicions de la norma.

Proteccions de continua:

La interrupció de corrents presenta més problemes en xarxes amb corrent continua que amb corrents alterna. Amb alterna existeix un pas natural de la corrent pel zero en cada semiperíode, al qual correspon un apagat espontani de l'arc que es forma quan s'obre el circuit. En corrent continua això no succeeix i, per a extingir l'arc, es necessita que la corrent disminueixi fins que s'anul·li. Es necessari que la interrupció es realitzi gradualment, sense sobtades anul·lacions de corrent que donarien lloc a sobretensions molt elevades.

Tal com s'ha indicat, els trams en els que s'han dividit les instal·lacions per la part de continua son dos i aquests es troben entre els propis laminats fotovoltaics i l'entrada a l'inversor.

1. Mòduls solars → Caixa de connexió de grup

Aquest tram estarà protegit contra sobreintensitats mitjançant fusibles en cada un dels ramals del generador fotovoltaic que provoquen l'obertura del circuit en cas que es produeixi una corrent superior a la admissible pels equips o conductors de la instal·lació. Cada ramal disposarà de dos fusibles de idèntiques característiques elèctriques, un per al conductor de polaritat positiva i l'altra per al de polaritat negativa (en Fig. 7.7 es mostra un fusible per a protegir línies de contínua).



Fig. 7.7: Fusible de corrent continua i símbol normalitzat

Donat el mode de instal·lació pel que fa a canalització (Categoria B) i secció de cable dels laminats fotovoltaics de 4 mm^2 , els paràmetres a utilitzar per al dimensionament dels fusibles seran (veure figura adjunta):

- $I_B = I_{\text{mpp_laminat}} = 4,36 \text{ A}$

- $I_Z = I_{\text{MAX_admissible}} = 32 \text{ A}$



Protección de las canalizaciones contra las sobrecargas por fusibles gG

La columna I_z da el valor de la corriente máxima admisible para cada sección de cables de cobre y aluminio, según la norma IEC 15100 y la guía UTE.

La columna F da el calibre del fusible gG asociado a la sección y al tipo de cable.

Las categorías B, C, E y F corresponden a los diferentes modos de instalación de los cables (ver página 447).

Los cables se clasifican en dos gamas: PVC y PR (ver tabla en página 448). La cifra situada a continuación corresponde al número de conductores cargados (PVC 3 indica que se trata de un cable de la gama PVC con 3 conductores cargados: 3 fases o 3 fases + neutro).

Ejemplo: un cable PR3 de 25 mm² de cobre instalado en categoría E está limitado a 127 A y protegido por un fusible de 100 A gG.

Categoría	Corriente admisible (I_z) protección de fusible asociada (F)															
B	PVC3	PVC2					PR3					PR2				
C		PVC3					PVC2	PR3					PR2			
E			PVC3					PVC2	PR3					PR2		
F				PVC3					PVC2	PR3					PR2	
S mm ²																
Cobre	I_z	F	I_z	F	I_z	F	I_z	F	I_z	F	I_z	F	I_z	F	I_z	F
1,5	15,5	10	17,5	10	18,5	16	19,5	16	22	16	23	20	24	20	26	20
2,5	21	16	24	20	25	20	27	20	30	25	31	25	33	25	36	32
4	28	25	32	25	34	25	36	32	40	32	42	32	45	40	49	40
6	36	32	41	32	43	40	46	40	51	40	54	50	58	50	63	50
10	50	40	57	50	60	50	63	50	70	63	75	63	80	63	86	63

Fig. 7.8. Quadre de protecció contra sobrecàrregues per fusibles gG

D'acord amb la norma IEC 15100 [18] i la guia UTE [17], el fusible gG associat a la secció de conductor, tipus de cable i canalització hauria de ser de **25 A** (veure quadre).

Si ho calculem d'acord amb la norma, per a que es compleixi la condició característica d'aquest tipus de protecció, com a mínim la corrent nominal del fusible haurà de ser:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z$$

$$4,36 \text{ A} \leq I_N \leq 32 \text{ A} \rightarrow I_N = 25 \text{ A}$$

A continuació calcularem la corrent convencional de fusió d'aquest fusible de manera que puguem comprovar que la dimensió del fusible es la correcta o, si per el contrari, hem d'optar per un altre que acompleixi: $I_2 \leq 1,45 \cdot I_Z$:

$$I_2 = 1,6 \cdot I_N = 1,6 \cdot 25 = 40 \text{ A}$$

$$I_2 \leq 1,45 \cdot I_Z \Rightarrow 40 \text{ A} \leq 1,45 \cdot 32 \text{ A} \Rightarrow 40 \text{ A} \leq 46,4 \text{ A}$$

D'aquesta manera, els fusibles que utilitzem en cada ramal de laminats fotovoltaics connectats en sèrie son de 25 A. Aquests son de tipus gG els quals tenen una corba de fusió lenta per a petites sobreintensitats i ràpida per a grans sobreintensitats (curtcircuits).

2. Caixa de connexió de grup → Inversor

Aquest tram estarà protegit en primer lloc per tres elements:

- **Descarregador:** Les instal·lacions fotovoltaïques que es caracteritzen per ocupar extenses superfícies estan especialment exposades a les descàrregues atmosfèriques i les consegüents sobretensions transitòries. Aquestes sobretensions es tradueixen en una reducció del rendiment i de la pròpia vida de la instal·lació.



L'ús de proteccions contra sobretensions garanteix la optimització del rendiment de la instal·lació.

Les proteccions de sobretensions descarreguen a terra els pics de tensió transitoris que es transmeten a través dels cables de la instal·lació elèctrica.

Les proteccions contra sobretensions de tipus atmosfèric poden ser de dos classes:

- CLASE I: Destinats a ser instal·lats en les extremitats de les línies exteriors d'una instal·lació fotovoltaica per a protegir-la contra impactes directes de raigs. Aquest tipus de protecció (Fig. 7.9) no s'utilitzaran en aquestes instal·lacions al no tractar-se de zones d'alt risc d'impacte directe per raigs.



Figura 7.9: Protecció contra sobretensions CLASE I i símbol normalitzat.

- CLASE II: Destinades a la protecció de les xarxes d'alimentació fotovoltaica contra les sobretensions transitòries degudes a descàrregues atmosfèriques indirectes que es produeixen a una determinada distància de la instal·lació fotovoltaica i indueixen una sobretensió (veure dispositiu en Fig. 7.10).

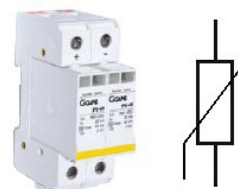


Figura 7.10: Protecció contra sobretensions CLASE II i símbol normalitzat.

Es necessari escollir un protector contra sobretensions amb un valor de tensió nominal (U_n) superior tant a la tensió de treball a potència màxima (V_{Max}) com a la tensió de buit (V_{oc}). Tot i que la primera es la tensió a la que previsiblement funcionarà la instal·lació, es necessari considerar que es poden donar circumstàncies determinades en la que els mòduls poden arribar a treballar propers a la seva tensió de buit. En el nostre cas, aquesta tensió màxima (575,74 V) es dona quan els laminats treballen en condició de circuit obert i a una temperatura de -10°C .

Per altra banda es necessari determinar els valors de I_{max} i I_n (capacitat de descàrrega). La solució més habitual en aquest tipus de instal·lacions es un protector de tipus 2 amb valors de $I_{max} = 40 \text{ kA}$ i $I_n = 20 \text{ kA}$. Aquests son els mínims recomanats a nivell normatiu (UNE 60364-5-534 [17]).



En darrera instància indicar que sempre es preferible la utilització d'un protector amb indicació remota de final de vida (IR). Aquesta senyal permet comunicar l'estat del protector mitjançant un contacte lliure de potencial en cas que aquest arribi al final de vida, evitant així que la instal·lació es pugui quedar sense la corresponent protecció.

El descarregador escollit per a les nostres instal·lacions es: SOLARTEC PST31PV de tensió en règim permanent màxima de 1000 VDC.

- Interruptor - Seccionador: Els interruptors de continua que s'instal·len en aquest tram de la instal·lació, tenen la funció d'aïllar zones del generador de cara a poder dur a terme treballs de manteniment dels mòduls solars.

S'inclou un interruptor d'aquest tipus per cada grup de 6 ramals del generador fotovoltaic connectats en paral·lel i per equip inversor considerat. Aquests interruptors proporcionen aïllament eficaç dels ramals que pertanyen al grup de l'interruptor en qüestió.

Per a l'elecció dels interruptors - seccionadors s'ha de tindre en compte dos paràmetres: la tensió de servei de la línia i la corrent que hauran de ser capaços d'interrompre en obrir-se. Per a aquestes instal·lacions, aquests paràmetres venen donats per: (1) la corrent de curtcircuit que pot arribar-se a produir en cada laminat fotovoltaic pel nombre de ramals que connecti el interruptor - seccionador i (2) la tensió màxima de servei serà la tensió màxima que pot donar-se en la instal·lació, es a dir, sota condicions de circuit obert i a una temperatura ambient de -10°C:

$$I_{SC} = 6 \text{ ramals} \cdot I_{SC} (70^{\circ}\text{C}) = 6 \cdot 5,54 = 33,24 \text{ A}$$

$$V_{OC} (-10^{\circ}\text{C}) = 575,74 \text{ V}$$

Per a aquest circuit s'ha escollit un interruptor - seccionador marca Solartec model A-5386PV0 el qual té com a tensió màxima de servei 800 V i es capaç d'interrompre una intensitat de 40 A.

- Fusible: A més a més d'un descarregador de sobretensions i un interruptor - seccionador, a cada línia d'aquest tram de corrent continua on es connecten els grups de 6 ramals del generador fotovoltaic, s'instal·len fusibles per a la protecció contra sobreintensitats per a evitar que es sobrepassin valors de corrent superiors a les admissibles pels conductors i equips de la instal·lació.

Al igual que en el tram anterior, es col·loquen dos fusibles per grup generador, un per al conductor de polaritat positiva i un altra per al conductor de polaritat negativa.



La secció del conductor que forma aquest tram de la instal·lació es de 16 mm^2 , de manera que els paràmetres a utilitzar per a dimensionar els fusibles en qüestió seran:

$$- I_B = 6 \text{ ramals} \times I_{\text{mpp_laminat}} = 6 \times 4,36 \text{ A} = 26,16 \text{ A}$$

$$- I_Z = I_{\text{MAX_admissible}} = 76 \text{ A}$$

D'acord amb la norma IEC 15100 [18] i la guia UTE [19], el fusible gG associat a la secció de conductor, tipus de cable i canalització hauria de ser de 63 A (veure quadre a continuació).

Protección de las canalizaciones contra las sobrecargas por fusibles gG

La columna I_z da el valor de la corriente máxima admisible para cada sección de cables de cobre y aluminio, según la norma IEC 15100 y la guía UTE.
La columna F da el calibre del fusible gG asociado a la sección y al tipo de cable.
Las categorías B, C, E y F corresponden a los diferentes modos de instalación de los cables (ver página 447).
Los cables se clasifican en dos gamas: PVC y PR (ver tabla en página 448). La cifra situada a continuación corresponde al número de conductores cargados (PVC 3 indica que se trata de un cable de la gama PVC con 3 conductores cargados: 3 fases o 3 fases + neutro).

Ejemplo: un cable PR3 de 25 mm^2 de cobre instalado en categoría E está limitado a 127 A y protegido por un fusible de 100 A gG.

Categoría	Corriente admisible (I_z) protección de fusible asociada (F)															
	PVC3		PVC2		PR3		PR2		PR2		PR2		PR2		PR2	
S mm ²	I_z	F	I_z	F	I_z	F	I_z	F	I_z	F	I_z	F	I_z	F	I_z	F
1,5	15,5	10	17,5	10	18,5	16	19,5	16	22	16	23	20	24	20	26	20
2,5	21	16	24	20	25	20	27	20	30	25	31	25	33	25	36	32
4	28	25	32	25	34	25	36	32	40	32	42	32	45	40	49	40
6	36	32	41	32	43	40	46	40	51	40	54	50	58	50	63	50
10	50	40	57	50	60	50	63	50	70	63	75	63	80	63	86	63
16	68	50	76	63	80	63	85	63	94	80	100	80	107	80	115	100
25	89	80	96	80	101	80	112	100	119	100	127	100	138	125	149	125
35	110	100	119	100	126	100	138	125	147	125	158	125	171	125	185	160
50	134	100	144	125	153	125	168	125	179	160	192	160	207	160	225	200
70	171	125	184	160	196	160	213	160	229	200	246	200	269	160	289	250
95	207	160	223	200	238	200	258	200	278	250	298	250	328	250	352	315
120	239	200	259	200	276	250	299	250	322	250	346	315	382	315	410	315
150			299	250	319	250	344	315	371	315	399	315	441	400	473	400
185			341	250	364	315	392	315	424	315	456	400	506	400	542	500
240			403	315	430	315	461	400	500	400	538	400	599	500	641	500
300			464	400	497	400	530	400	576	500	621	500	693	630	741	630
400									656	500	754	630	825	630		840
500									749	630	868	800	946	800		1.083
630									855	630	1.005	800	1.088	800		1.254

Fig. 7.11: Quadre de protecció contra sobrecàrregues per fusibles gG

Per tant, per a que es compleixi la condició, com a mínim la intensitat nominal del fusible serà:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z$$

$$26,16 \text{ A} \leq I_N \leq 76 \text{ A} \rightarrow I_N = 63 \text{ A}$$

A continuació es calcula la corrent convencional de fusió d'aquest fusible comprovant si la dimensió del fusible es la correcta o, per el contrari, s'ha de buscar un valor més gran que compleixi $I_2 \leq 1,45 \times I_Z$:



$$I_2 = 1,6 \cdot I_N = 1,6 \cdot 63 = 100,8 \text{ A}$$

$$I_2 \leq 1,45 \cdot I_Z \Rightarrow A \leq 1,45 \cdot 76 \text{ A} \Rightarrow 100,8 \text{ A} \leq 110,2 \text{ A}$$

D'aquesta manera, els fusibles que utilitzem en cada ramal de laminats fotovoltàics connectats en sèrie son de 63 A. Aquests son de tipus gG els quals tenen una corba de fusió lenta per a petites sobreintensitats i ràpida per a grans sobreintensitats (curtcircuits).

Així, el generador fotovoltàic conformat per grups de 6 ramals en paral·lel per equip inversor té per cada grup la corresponent caixa de connexió / desconexió de grup on s'instal·len tant els fusibles de 25 A encarregats de la protecció del primer tram de cablejat com el descarregador, el interruptor - seccionador i el fusible de protecció del segon tram de cablejat (veure la caixa en qüestió en la Fig. 7.12).

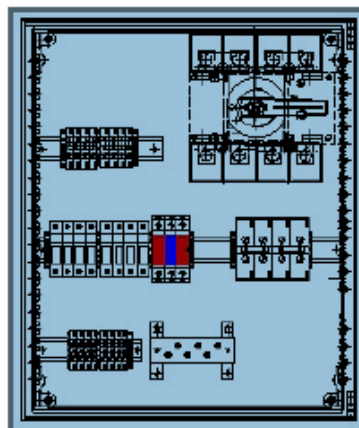


Fig. 7.12: Caixa de connexió de grup

A cada una de les caixes de connexió de grup arriben 12 conductors de 4 mm², sis de polaritat positiva i sis de polaritat negativa; en cada conductor es troba connectat un fusible de 25 A. Darrera dels fusibles es produeix la interconnexió dels conductors de 4 mm² passant a dos únics conductors a la sortida de cada una de les caixes de connexió de grup i s'instal·len un descarregador SOLARTEC PST31PV, un interruptor - seccionador SOLARTEC model A-386PV0 i un fusible en cada conductor de sortida.

La caixa de connexió / desconexió haurà d'oferir un grau de protecció i resistència IP55 - IK09 o superior. Ha de disposar de doble aïllament i complir amb la norma IEC60670. Aquestes caixes de protecció s'ubiquen estratègicament a prop dels ramals que la mateixa ha de connectar i/o desconectar (distància que s'ha estimat en 25 m).

Pel que fa a l'entrada a l'equip inversor, hem de considerar un segon quadre o caixa en la que s'inclou algun altre element de protecció abans de connectar amb el propi equip inversor. Aquests elements son els següents:



- Controlador permanent d'aïllament: Aquest tipus de controladors són proteccions que s'utilitzen en circuits de corrent continua per a detectar possibles faltes d'aïllament dels dos conductors (positiu i negatiu) envers el terra. El controlador permanent d'aïllament està format per dos dispositius: un vigilant d'aïllament i un interruptor de corrent continua (veure en Fig 7.13 l'esquema d'aquest dispositiu).

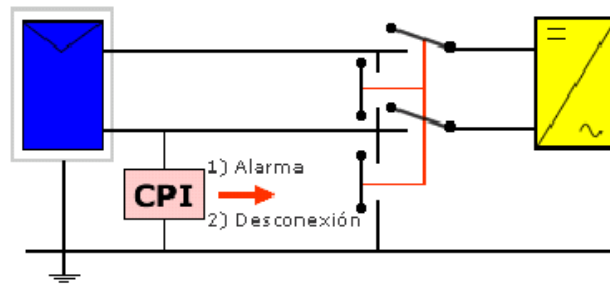


Fig. 7.13: Esquema del controlador permanent d'aïllament.

→ Vigilant d'aïllament: Aquest vigilant d'aïllament fa una mesura continua de l'aïllament existent entre el conductor de polaritat positiva i el conductor de polaritat negativa, es a dir, mesura la resistència existent entre ambdós conductors i quan aquesta es inferior a un valor determinat, envia una senyal a l'interruptor de corrent continua (veure esquema i imatge en Fig. 7.14).

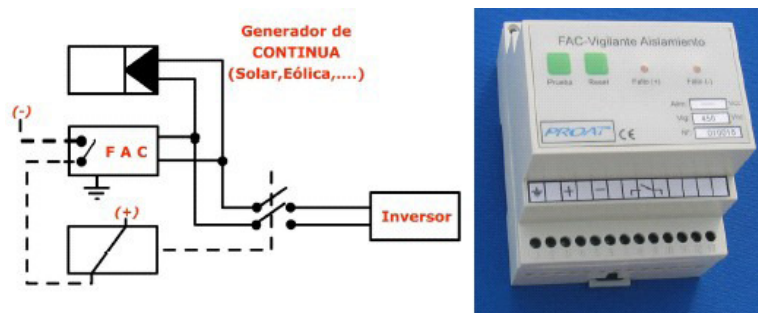


Fig. 7.14: Vigilant d'aïllament i esquema de connexió.

La màxima tensió de funcionament que es produirà en el circuit serà quan la temperatura ambient sigui la mínima i en condicions de circuit obert, 575,74 V, per tant, el vigilant d'aïllament elegit per a la instal·lació es el model FAC650 de la marca PROAT per al qual el marge de tensió oscil·la entre 450 - 650 V.

Interruptor de corrent continua: L'interruptor de corrent continua obre el circuit quan rep l'ordre del vigilant d'aïllament de manera que desconnecta l'inversor i deriva la sobrecàrrega cap al terra de la instal·lació; d'aquesta manera es poden evitar riscos d'electrocució del personal encarregat de la instal·lació. El interruptor de corrent continua escollit per al controlador permanent d'aïllament es de marca PROAT model INFAC.



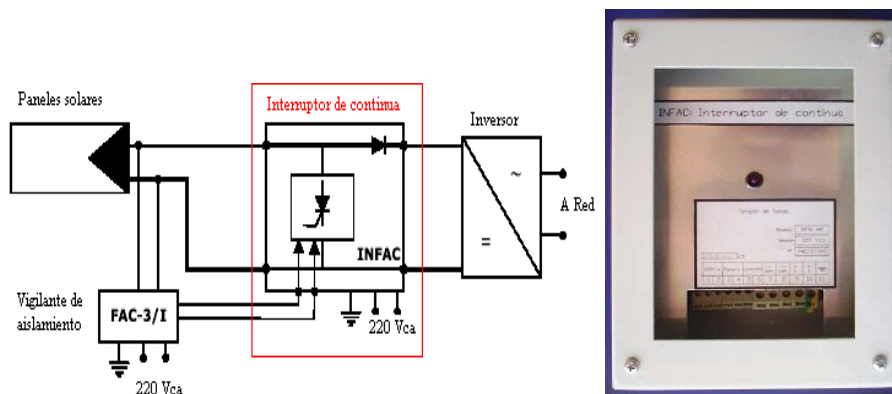


Fig. 7.15: Esquema de connexió de interruptor de corrent continua.

- **Magnetotèrmic:** Aquests dispositius són aparells modulars amb diferents possibilitats pel que fa al nombre de pols: unipolars, bipolars, tripolars i tetrapolars. Tenen incorporats un dissipador tèrmic i altra magnètic, actuant sobre un dispositiu de tall la làmina bimetal·lica i l'electroimant. Normalment no admeten dissipadors indirectes.

La maniobra es porta a terme per tall a l'aire. Per a sobreintensitats petites i prolongades actua la protecció tèrmica i per a sobreintensitats elevades actua la protecció magnètica.

Al igual que es va indicar per als fusibles, tot magnetotèrmic ha de complir els següents requisits segons la norma ITC-BT-22 [16]:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z$$

$$I_2 \leq 1,45 \cdot I_Z$$

En la protecció per magnetotèrmic normalitzat no es necessari comprovar la segona condició ja que $I_2 = 1,45 \cdot I_Z$ i per tant sempre compleix; d'aquesta manera només es necessari comprovar la primera condició:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z$$

Al igual que per quan calculàvem la dimensió del fusible, les dades a considerar per a dimensionar el magnetotèrmic també seran:

$$- I_B = 6 \text{ ramals} \times I_{\text{mpp_laminat}} = 6 \times 4,36 \text{ A} = 26,16 \text{ A}$$

$$- I_Z = I_{\text{MAX_admissible}} = 76 \text{ A}$$

$$26,16 \text{ A} \leq I_N \leq 76 \text{ A} \rightarrow I_N = 63 \text{ A}$$

Una vegada coneguda la intensitat nominal del propi element de protecció, s'opta per l'interruptor magnetotèrmic model S802PV-S63 de dos pols de ABB (Fig. 7.16).



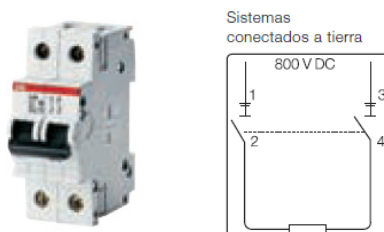


Figura 7.16: Interruptor magnetotèrmic tripolar de caixa modulada.

D'aquesta manera la caixa o armari que precedeix a la connexió amb l'equip inversor està conformat per aquests dos elements, controlador permanent d'aïllament i magnetotèrmic. A aquesta caixa arriben i surten dos cables de 16 mm² de secció.

Aquesta caixa o armari, ha de ser d'un grau de protecció IP-30 mínim amb entrada per a canalitzacions per a superfície o encastable i tancament amb clau per a dur a terme les corresponents maniobres.

Proteccions d'alterna:

Les proteccions d'alterna estan ubicades aigües avall de l'inversor per a la protecció dels circuits i connexió a xarxa de la instal·lació un cop convertida la corrent continua en alterna. Les proteccions de corrent alterna es dissenyaran per a la protecció dels darrers dos trams del circuit:

TRAM 3: Inversor → Quadre d'Alterna:

Tan aquest tram com el següent, el sistema de proteccions ha de complir amb la normativa vigent sobre la connexió de instal·lacions fotovoltaïques a la xarxa de baixa tensió de l'article 11 del R.D. 1663/2000 [20] a més a més de considerar els requisits de connexió de l'empresa propietària de la distribució de l'energia elèctrica en el punt de connexió a xarxa de la instal·lació fotovoltaïca, en aquest cas ENDESA.

- Protecció per a la interconnexió de màxima i mínima freqüència (51 Hz i 49 Hz respectivament) i de màxima i mínima tensió (1,1 i 0,85 U_m respectivament).
- Interruptor general manual que serà un interruptor magnetotèrmic amb intensitat de curtcircuit superior a la indicada per l'empresa distribuïdora en el punt de connexió. Aquest interruptor serà accessible a l'empresa distribuïdora en tot moment amb l'objectiu de poder realitzar la desconexió manual.
- Interruptor automàtic diferencial amb l'objectiu de protegir a les persones en el cas de derivació d'algun element de la part continua de la instal·lació.
- Interruptor automàtic de la interconnexió, per a la desconexió-connexió automàtica de la instal·lació fotovoltaïca en cas de pèrdua de tensió o freqüència de la xarxa.



Donat que el inversor escollit ja disposa de part d'aquestes proteccions, per a aquest tram comprès entre la sortida de cada equip inversor i el quadre d'alterna, considerem la necessitat de protegir cada línia amb un interruptor magnetotèrmic i un altra interruptor diferencial.

Per a l'elecció de l'interruptor magnetotèrmic s'utilitzen les equacions següents:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z$$

$$I_2 \leq 1,45 \cdot I_Z$$

De cara a dimensionar correctament el dispositiu i, d'acord al que hem pogut veure en la part de continua, els interruptors magnetotèrmics sempre compleixen la segona condició, doncs la corrent convencional de desconexió dels interruptors magnetotèrmics sempre es de $I_2 = 1,45 \times I_Z$, de manera que únicament hem d'assegurar que complim la primera d'elles.

Per al càlcul de la intensitat nominal de l'interruptor a utilitzar en aquest tram, es necessari calcular la intensitat màxima admissible pels conductors i la intensitat normal d'utilització en aquest tram.

La secció dels conductors en aquest tram es de 4 mm^2 , per tant la intensitat màxima admissible pels conductors es $I_Z = I_{\text{MAX_admissible}} = 24 \text{ A}$.

El valor de la intensitat normal de funcionament que circularà pel tram vindrà donat per la potència màxima que l'inversor pot entregar a la xarxa. Així considerant una tensió de 400 V i un factor de potència de $\cos \varphi = 0.85$ tenim:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_L \cdot \cos \varphi} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,85} = 16,98 \text{ A}$$

D'aquesta manera, comprovem que complim amb l'equació $I_B \leq I_N \leq I_Z$ ($16,98 \text{ A} \leq I_N \leq 24 \text{ A} \Rightarrow I_N = 20 \text{ A}$), pel que per a aquest tram escollim l'interruptor magnetotèrmic S204-C20 de quatre pols de la marca ABB amb corba C i poder de tall de 6 kA.

En darrera instància considerem la protecció diferencial model F204 AC-25/0.3 de quatre pols amb sensibilitat 300 mA.

La funció principal del model de protecció diferencial escollida es protegir a les persones d'una possible fuga a terra en règim d'alterna així com també protegir contra contactes directes i indirectes.

La intensitat nominal considerada ha estat de 25 A, un nivell superior a la intensitat nominal de la protecció magnetotèrmica (20 A) precedent donat que la sèrie de proteccions diferencials en qüestió parteix d'aquest valor com a valor mínim.

Fins a aquest punt (tram 3), donat el caire modular que se li ha donat al conjunt de instal·lacions de 10, 30, 50 i 100 kW, tots els mòduls de captació i transformació a alterna



(10 kW per mòdul) venen conformats pels mateixos dispositius de protecció i cablejat. Donades les característiques de les instal·lacions en el seu conjunt, el darrer tram (tram 4) sí serà diferent depenent del tipus de instal·lació, doncs aquestes venen a captar i transformar diferents nivells de potència (10, 30, 50 i/o 100 kW).

TRAM 4: Quadre d'Alterna → Connexió xarxa baixa tensió:

Depenent del tipus de instal·lació, les proteccions magnetotèrmiques i diferencials s'han d'escollir de manera que es compleixin que $I_B \leq I_N \leq I_Z$. De la Taula 7.4 s'extreuen els valors de intensitat nominal per a cada modalitat de instal·lació i en la Taula 7.5 es detallen els models de protecció escollides per a cada cas:

	Potència (kW)	S (mm ²)	I_B (A)	I_Z (A)	I_N (A)
INST10	10	16	14,4	42,96	$14,4 \leq I_N \leq 42,96$
INST30	30	16	43,3	74,40	$43,3 \leq I_N \leq 74,40$
INST50	50	25	72,17	95,88	$72,17 \leq I_N \leq 95,88$
INST100	100	70	144,34	168,75	$144,34 \leq I_N \leq 168,75$

Taula 7.4 Intensitat nominal per al tram 4

Tipus	Potència (kW)	I_N (A)	Model	Comp.	Tipus
INST10	10	30	S204U-K30	ABB	Interruptor automàtic modular (carril DIN)
INST30	30	60	S204U-K60	ABB	Interruptor automàtic modular (carril DIN)
INST50	50	80	S294U-K80	ABB	Interruptor automàtic modular (carril DIN)
INST100	100	160	T1B 160 TMD160-1600 4p F FC Cu (1x70mm ²)	ABB	Interruptor automàtic en caixa emmotllada

Taula 7.5: Protecció magnetotèrmica per al darrer tram d'alterna

Com podem observar en els tres primers casos hem pogut considerar interruptors automàtics magnetotèrmics modulars (carril DIN), mentre que en el darrer cas hem hagut de recórrer a un interruptor automàtic magnetotèrmic en caixa emmotllada. El principal motiu d'aquesta elecció es deu a que els interruptors magnetotèrmics modulars tenen la seva limitació en els 125 A de intensitat nominal.



Pel que fa a les diferents proteccions diferencials es consideraran diferents dispositius en funció del tipus de instal·lació i/o prestacions:

- **Cas INST10 i INST30:** Blocs diferencials de tipus DDA 200 AC (ABB) a combinar amb els interruptors automàtics magnetotèrmic de la sèrie 200 (ABB) amb intensitat nominal de 25 A i 63 A respectivament.
- **Cas INST50:** Bloc diferencial de tipus DDA 60 AC (ABB) a combinar amb l'interruptor automàtic magnetotèrmic de la sèrie S290 (ABB) amb intensitat nominal de 100 A.
- **Cas INST100:** Bloc diferencial RC221 (ABB) a acoblar amb l'interruptor automàtic Tmáx T1 (ABB) considerat amb intensitats nominals de 160 A.

Un cop arribat a aquest punt en el que hem dimensionat les proteccions capçaleres de la instal·lació prèvies a la connexió a xarxa, haurem de considerar l'armari de comptadors de mesura que permetran enregistrar l'energia produïda per la instal·lació solar i mesurar el consum del propi sistema fotovoltaic. Es per aquest motiu que s'hauran de considerar un total de dos comptadors unidireccionals.

L'armari que inclourà el conjunt de comptadors entre altres elements haurà de complir tot el que la norma ITC-BT-16 [21] indica així com el mateix RD 1663/2000 [20]. A la vegada, els dos comptadors unidireccionals hauran d'ajustar-se també a la normativa metrològica vigent i la seva precisió haurà de ser com a mínim la corresponent a la de classe de precisió 2, regulada pel Reial Decret 875/1984 [22].

Els comptadors hauran de ser seleccionats entre les marques homologades per la companyia elèctrica distribuïdora a la vegada que aquesta els haurà de certificar, però aquests ja queden fora de l'abast d'aquest projecte.

7.5. Planificació de implementació de les instal·lacions

A l'hora de concretar un termini general d'execució i posta en marxa d'aquests tipus de instal·lacions solars fotovoltaïques, en addició a l'estudi preliminar de viabilitat i disseny i els propis d'execució, hi ha un procés de legalització que té un pes molt important i que no podem obviar.

Encara en l'actualitat i, motivat per la variabilitat en l'escenari en que s'ha anat trobant la fotovoltaica en els darrers anys, el procés de tramitació administrativa que permet legalitzar i regular les diferents instal·lacions és llarg i lent (en l'Annex H es detallen les gestions administratives a considerar).

A més a més, l'aparició de noves disposicions legals que obliguen a la instal·lació de plaques fotovoltaïques, com el Codi Tècnic de l'Edificació o les ordenances municipals, així



com altres com són el tràmit de llicència d'activitat o el registre industrial, encara incrementen més el conjunt de documentació i burocràcia a accomplir.

Donada la importància que té el procés administratiu en tot el procés de implementació, a continuació (Taula 7.6) s'exposen els terminis que es poden donar tant a nivell global com per fase: Llançament, Execució, Legalització i Verificació i explotació.

FASE	CONCEPTE	TIPUS INSTAL·LACIÓ			
		INST100	INST50	INST30	INST10
Llançament	Estudi viabilitat	4 Sem	3 Sem	2 Sem	2 Sem
	Projecte Tècnic	4 Sem	4 Sem	3 Sem	3 Sem
	Punt de connexió	4 Sem	4 Sem	4 Sem	4 Sem
	SUBTOTAL LLANÇAMENT	12 Sem	11 Sem	9 Sem	9 Sem
Execució	Contracte venda electricitat en règim especial (*)	4 Sem	4 Sem	4 Sem	4 Sem
	Llicència d'obres	8 Sem	8 Sem	8 Sem	8 Sem
	Execució projecte instal·lació	9 Sem	6 Sem	4 Sem	2 Sem
	Certificar instal·lació	1 Sem	1 Sem	1 Sem	1 Sem
	SUBTOTAL EXECUCIÓ	18 Sem	15 Sem	13 Sem	11 Sem
Legalització	Llicència d'activitat (*)	8 Sem	8 Sem	8 Sem	8 Sem
	Inclusió Règim Especial Producció Elèctrica (REPE) (*)	3 Sem	3 Sem	3 Sem	3 Sem
	Obtenció Autorització Administrativa (AA)	12 Sem	12 Sem	12 Sem	12 Sem
	Autorització posta en servei (*)	4 Sem	4 Sem	4 Sem	4 Sem
	Tramitació Inscripció Registre Instal·lacions de Producció en Règim Especial (RIPRE) (*)	4 Sem	4 Sem	4 Sem	4 Sem
	SUBTOTAL LEGALITZACIÓ	12 Sem	12 Sem	12 Sem	12 Sem
Verificació i explotació	Verificació equips mesura	2 Sem	2 Sem	2 Sem	2 Sem
	Emissió Certificat de compliment	1 Sem	1 Sem	1 Sem	1 Sem
	Inscripció definitiva en el RIPRE (*)	1 Sem	1 Sem	1 Sem	1 Sem



FASE	CONCEPTE	TIPUS INSTAL·LACIÓ			
		INST100	INST50	INST30	INST10
	<i>SUBTOTAL VERIFICACIÓ</i>	<i>3 Sem</i>	<i>3 Sem</i>	<i>3 Sem</i>	<i>3 Sem</i>
<i>TOTAL</i>		<i>45 Sem</i>	<i>41 Sem</i>	<i>37 Sem</i>	<i>35 Sem</i>

Taula 7.6: Terminis per a les diferents fases

(*) Nota-. Diferents conceptes que s'executen en paral·lel amb altres activitats

En l'Annex D també podem veure els diferents diagrames de Gantt per a cada una de les instal·lacions: INST 100, INST 50, INST 30, INST 10.

El fet que totes les instal·lacions que considerem en aquest projecte tinguin una potència instal·lada inferior o igual a 100 kW, fa que la tramitació tècnica i administrativa serà la mateixa per a totes (veure esquema en mateix Annex D).



8. Estudi energètic

L'estimació de l'energia produïda es calcula a partir de la següent equació proposada pel plec de condicions de IDAE [14]:

$$E_p = \frac{G_{dm}(\alpha, \beta) \times P_{mp} \times PR}{G_{CEM}} \quad (\text{Eq. 8.1})$$

On :

$G_{dm}(\alpha, \beta)$ = Valor mig mensual i anual de la irradiació diària sobre el pla del generador en kWh/(m²·dia), obtingut a partir de $G_{dm}(0)$ i, en el cas que s'hagin descomptat les pèrdues per ombrejat en cas de ser aquestes superiors a un 10% (tal com s'indica en annex III del plec de condicions de IDAE [14]). El paràmetre α representa l'azimut i el β la inclinació del generador.

P_{mp} = Potència pic del generador (kW_p)

$G_{CEM} = 1 \text{ kW/m}^2$

$PR = 1 - \Sigma \text{ Pèrdues}$

De cara a disposar de les dades de irradiació ($G_{dm}(\alpha, \beta)$) sobre el municipi objecte de estudi, optem per agafar aquestes de la pàgina Web de la Comissió Europea: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php> [23]. En aquesta pàgina apareixen les dades de radiació de qualsevol punt geogràfic sol·licitat tot introduint les coordenades de latitud i longitud del lloc en qüestió o bé, en cas de no disposar d'aquestes, introduint el nom del poble o ciutat acompanyat del país al qual pertany.

En el nostre cas hem introduït el nom del municipi i els valors de latitud i longitud obtinguts han estat: 41°29'32" Nord, 2°1'52" Est, Elevació respecte nivell del mar: 134 m.

De manera que el càlcul de l'energia generada en la instal·lació s'aproximi a la realitat s'han de considerar tot un seguit de pèrdues degudes a diferents aspectes. Partint d'aquestes podem calcular el valor de PR (Performance Ratio), variable necessària a l'hora de calcular l'energia produïda.

8.1. Càlcul de pèrdues

Pèrdues per temperatura

En les lones fotovoltaïques es produeixen unes pèrdues de potència de l'ordre de un 4 – 5 % per cada 10°C d'augment de la seva temperatura d'operació tot depenent del tipus de tecnologia utilitzada per el fabricant de la cèl·lula). Aquestes pèrdues venen provocades per



la temperatura de treball de les cèl·lules fotovoltaïques, la qual no sol ser la mateixa que en el lloc on es duen a terme les proves de cara a establir les característiques dels diferents mòduls.

Per a calcular aquestes pèrdues per efecte de la temperatura utilitzem el mètode proposat pel plec de condicions tècniques del IDAE [14], el qual es basa les següents equacions (Ec. 8.2 i Ec. 8.3) i variables:

$$T_c = T_a + \frac{(TONC - 20) \cdot E}{800} \quad (\text{Eq. 8.2})$$

$$P_{T_c} = P_{25^\circ C} \cdot \left(1 + \frac{T_{K(P)} \cdot (T_c - 25^\circ C)}{100}\right) \quad (\text{Eq. 8.3})$$

On:

T_c es la Temperatura de les cèl·lules solars, en $^\circ\text{C}$,

T_a = Temperatura ambient a la ombra al migdia solar, en $^\circ\text{C}$

TONC = Temperatura d'operació nominal del mòdul, en $^\circ\text{C} \rightarrow 46^\circ\text{C}$ segons full d'especificacions tècniques de les lones.

E = Irradiància solar al migdia solar, en W/m^2

P_{T_c} = Potència d'un mòdul considerant la temperatura de les cèl·lules, en W

$P_{25^\circ\text{C}}$ = Potència nominal d'un mòdul en CEM, en $\text{W} \rightarrow 144$ segons full d'especificacions tècniques de les lones.

$T_{K(P)} = -0,0021$ ($^\circ\text{C}/\text{K}$) segons full d'especificacions tècniques de les lones.

Els valors de irradiància (E) i temperatura ambient (T_a) al migdia solar son extrets de l'aplicació web de la Comissió Europea <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php> [23].

Considerant totes les variables i constants, aconseguim completar la taula de pèrdues degudes a la temperatura que es veu a continuació (Taula 8.1):

Mes	T_a ($^\circ\text{C}$)	E (W/m^2)	T_c ($^\circ\text{C}$)	P_{T_c} (W)	% Pèrdues
Gener	10,70	515	27	143,26	0,51%
Febrer	11,90	559	30	142,47	1,06%
Març	15,10	680	37	140,31	2,56%
Abril	17,30	669	39	139,75	2,95%



Mes	T_a (°C)	E (W/m ²)	T_c (°C)	P_{Tc} (W)	% Pèrdues
Maig	20,90	679	43	138,57	3,77%
Juny	25,30	717	49	136,86	4,96%
Juliol	27,60	762	52	135,72	5,75%
Agost	27,80	754	52	135,74	5,73%
Setembre	24,10	734	48	137,06	4,82%
Octubre	20,50	633	41	139,14	3,38%
Novembre	14,70	516	31	142,04	1,36%
Desembre	11,10	488	27	143,41	0,41%

Taula 8.1: Detall de pèrdues a considerar en el càlcul energètic

Pèrdues en el cablejat

Tan en la zona de contínua com en la d'alterna de la instal·lació, com en totes les instal·lacions elèctriques, es produeixen pèrdues energètiques degudes a les pròpies caigudes de tensió, les quals s'originen quan una determinada corrent circula per un conductor d'un material i secció determinada. En el plec de condicions tècniques de IDAE [14] es fa referència a aquest punt indicant que aquestes pèrdues en el costat de contínua (CC) no poden superar el 1,5% i en el costat d'alterna (CA) el 2%.

Donat que no es part de l'abast del projecte en qüestió concretar i/o dissenyar tota la instal·lació elèctrica al detall, es considerarà com a pèrdues en aquest concepte el percentatge recomanat pel plec de condicions de IDAE [14], el qual es del 2%.

Pèrdues per pols i brutícia en les lones

Un cop instal·lades totes les lones fotovoltaïques sobre les diferents cobertes, serà inevitable que certa brutícia, pols, etc., es vagi acumulant sobre la superfície de captació. En aquest cas s'accepten, segons el plec de IDAE [14], unes pèrdues no superiors al 3% (considerarem un 1,70%).

Pèrdues en el inversor

En el full de característiques tècniques de l'equip inversor s'indica el rendiment màxim i el Europeu. Com a rendiment de l'inversor es més acceptat el rendiment europeu doncs es molt més representatiu que el rendiment màxim (en unes condicions molt concretes). En el nostre cas, donat que l'euroeficiència es de 95,9 %, el percentatge de pèrdues a considerar en aquest concepte es de 4,1 %.



Pèrdues per dispersió de paràmetres

Tot i que el procés de producció de les pròpies lones fotovoltaïques es el mateix, no es pot assegurar que entre dos mòduls ambdós siguin 100% idèntics. En altres paraules, el valor de potencia que pot oferir de forma individual cada mòdul, referida a les CEM, presentarà una petita distorsió respecte als valors teòrics. A l'igual que d'altres productes del mercat, els fabricants garanteixen un valor per a la potencia d'un mòdul de manera que aquest es trobi dins d'un marge que oscil·la segons el mateix fabricant indiqui. En el cas nostre, el valor proposat pel propi plec de condicions de IDAE [14], el percentatge de pèrdues que podem considerar en aquest cas es d'un 2%.

Pèrdues per inclinació i azimuth

En el cas sotmès a estudi, les pèrdues degudes a la inclinació i azimuth son del 0% donat que els mòduls estan orientats cap al sud i amb el grau d'inclinació òptim.

Pèrdues per ombres

Qualsevol sistema fotovoltaic pot arribar a estar condicionat per la presencia d'ombres en determinades hores del dia. Aquestes ombres sobre els mòduls generen unes pèrdues energètiques causades per la reducció en la captació d'irradiació solar. El mètode utilitzar per al càlcul d'aquestes pèrdues es el recomanat pel plec de condicions de IDAE [14].

El procediment del mètode de càlcul consisteix en comparar el perfil dels obstacles que afecta a la superfície d'estudi amb el diagrama de trajectòries del Sol. Els passos son els següents:

1. Obtenció del perfil d'obstacles:

En primer lloc s'han de localitzar els principals obstacles que afecten a la superfície de captació, en termes de coordenades de posició azimuth (angle de desviació respecte a la direcció sud) i elevació (angle de inclinació respecte al pla horitzontal).

En el nostre cas, només considerarem com a obstacles que poden generar ombres els propis substrats angulars que permeten posicionar els mòduls amb posició i angle de inclinació òptima. Donat que la disposició final dels panells anirà condicionada per cada tipus de coberta, considerarem el cas més pessimista en el que l'elevació escollida serà la provocada per la distancia mínima entre panells, donant una elevació de $19,72^\circ$ per a un rang d'azimut de -90° a 90° .

2. Representació del perfil d'obstacles

En segon lloc s'ha de representar el perfil dels obstacles en el diagrama de trajectòries del sol (Fig. 8.1). Aquest diagrama mostra la banda de trajectòries del Sol al llarg de tot l'any, vàlid per a localitats de la Península Ibèrica i Balears. Aquesta banda es troba



dividia en porcions, delimitades per les hores solars (negatives abans del migdia i positives després d'aquest) i identificades per una lletra i un número (A1, A2, ..., D14).

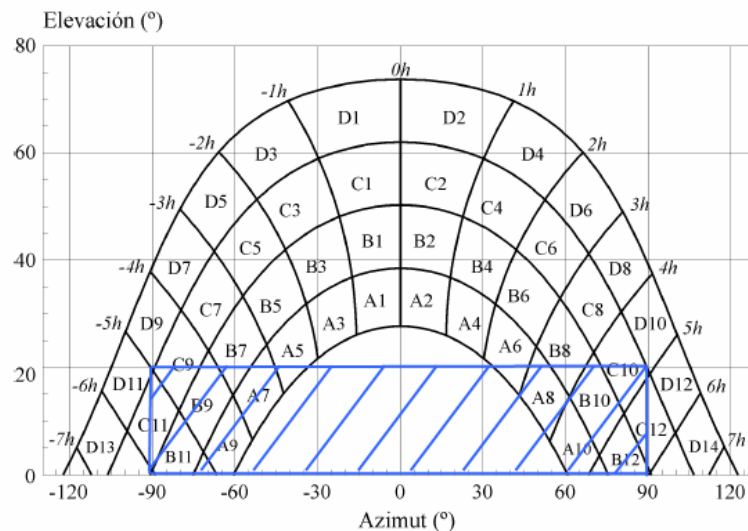


Fig 8.1: Diagrama de trajectòries del sol i perfil d'obstacles

3. Selecció de la taula de referència per als càlculs

Cada porció del diagrama de trajectòries del sol, representa el recorregut del sol en un cert període de temps (una hora al llarg de diversos dies) i té, per tant, una determinada contribució a la irradiació solar global anual que incideix sobre la superfície d'estudi. Així, el fet que un obstacle cobreixi una de les porcions, suposa una certa pèrdua de irradiació, en particular aquella que resulta interceptada per l'obstacle. De cara a fer el càlcul, s'agafa la taula de referència més adient, que en aquest cas es la que indiquem a continuació (Fig. 8.2) donat que té uns valors d'azimut i elevació més properes al cas nostre ($\alpha=0$; $\beta=36^\circ$).

Tabla V-1

$\beta = 35^\circ$ $\alpha = 0^\circ$	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,03
11	0,00	0,01	0,12	0,44
9	0,13	0,41	0,62	1,49
7	1,00	0,95	1,27	2,76
5	1,84	1,50	1,83	3,87
3	2,70	1,88	2,21	4,67
1	3,15	2,12	2,43	5,04
2	3,17	2,12	2,33	4,99
4	2,70	1,89	2,01	4,46
6	1,79	1,51	1,65	3,63
8	0,98	0,99	1,08	2,55
10	0,11	0,42	0,52	1,33
12	0,00	0,02	0,10	0,40
14	0,00	0,00	0,00	0,02

Fig. 8.2. Taula V-1 de referència per al càlcul de pèrdues d'ombres (IDAE[14]).



Els valors que figuren en cada casella de la taula anterior corresponen al percentatge de irradiació solar global anual que es perdria si la porció corresponent en la figura 8.1 resultés interceptada per un obstacle.

4. Càlcul final

La comparació del perfil d'obstacles amb el diagrama de trajectòries del sol, permet calcular les pèrdues per ombres de la irradiació solar global que incideix sobre la superfície al llarg de l'any.

El càlcul es basa en sumar les contribucions d'aquelles porcions que resulten total o parcialment ocultes pel perfil d'obstacles representat (veure Ec. 8.4). En el cas d'ocultació parcial s'utilitzarà el factor d'emplenat (fracció oculta respecte del total de la porció) més pròxim als valors següents: 0.25, 0.50, 0.75 ó 1.

$$\begin{aligned} \text{Pèrdues} = & C11 \cdot 0,5 + C9 \cdot 0,5 + B9 + B11 + B7 \cdot 0,25 + A9 + A7 + A5 \cdot 0,25 + \\ & A6 \cdot 0,25 + A8 + A10 + B8 \cdot 0,25 + B10 + C10 \cdot 0,5 + C12 \cdot 0,5 + B12 = 5,15\% \end{aligned} \quad (\text{Eq. 8.4})$$

D'aquesta manera, el percentatge de pèrdues que haurem de considerar i el valor PR final es mostren en la següent taula resum (Taula 8.2):

Mes	% Pèrd. Temp.	% Pèrdues Cablejat	% Pèrdues Brutícia	% Pèrdues Inversor	% Pèrdues Dispersió Paràmetr.	% Pèrdues ombres	PR
Gener	0,51	2,00	1,70	4,10	2,00	5,15	84,54
Febrer	1,06	2,00	1,70	4,10	2,00	5,15	83,99
Març	2,56	2,00	1,70	4,10	2,00	5,15	82,49
Abril	2,95	2,00	1,70	4,10	2,00	5,15	82,10
Maig	3,77	2,00	1,70	4,10	2,00	5,15	81,28
Juny	4,96	2,00	1,70	4,10	2,00	5,15	80,09
Juliol	5,75	2,00	1,70	4,10	2,00	5,15	79,30
Agost	5,73	2,00	1,70	4,10	2,00	5,15	79,32
Setembre	4,82	2,00	1,70	4,10	2,00	5,15	80,23
Octubre	3,38	2,00	1,70	4,10	2,00	5,15	81,67
Novembre	1,36	2,00	1,70	4,10	2,00	5,15	83,69
Desembre	0,41	2,00	1,70	4,10	2,00	5,15	84,64

Taula 8.2. Resum pèrdues i càlcul del PR



8.2. Energia produïda

Un cop conegut el pes total de les pèrdues acumulades que s'han de considerar, estem en disposició de calcular l'energia diària produïda (E_{Pd}) (veure Annex F) en funció del mes utilitzant l'equació (Ec. 8.1). D'aquesta manera, multiplicant aquest valor per el nombre de dies que componen cada mes, aconseguirem conèixer l'energia total produïda cada mes (E_{Pm}) i el total a l'any tot sumant aquests (veure Taula 8.3).

Mes	$G_{dm}(\alpha, \beta)$ $\alpha=0; \beta=36^\circ$ (Wh/m ² *dia)	PR	Dies	E_{Pm100} (kWh/mes)	E_{Pm50} (kWh/mes)	E_{Pm30} (kWh/mes)	E_{Pm10} (kWh/mes)
Gener	3.190	84,54	31	7.945,32	3.972,66	2.383,60	794,53
Febrer	3.730	83,99	28	8.336,41	4.168,21	2.500,92	833,64
Març	4.950	82,49	31	12.029,96	6.014,98	3.608,99	1.203,00
Abril	5.280	82,10	30	12.359,77	6.179,89	3.707,93	1.235,98
Maig	5.670	81,28	31	13.577,44	6.788,72	4.073,23	1.357,74
Juny	6.070	80,09	30	13.861,60	6.930,80	4.158,48	1.386,16
Juliol	6.260	79,30	31	14.626,28	7.313,14	4.387,89	1.462,63
Agost	6.010	79,32	31	14.044,40	7.022,20	4.213,32	1.404,44
Setembre	5.450	80,23	30	12.466,89	6.233,44	3.740,07	1.246,69
Octubre	4.380	81,67	31	10.539,75	5.269,87	3.161,92	1.053,97
Novembre	3.270	83,69	30	7.802,89	3.901,45	2.340,87	780,29
Desembre	2.960	84,64	31	7.381,21	3.690,60	2.214,36	738,12
TOTALS ENERGIA PRODUIDA ANUAL (kWh):				134.971,92	67.485,96	40.491,58	13.497,19

Taula 8.3. Producció energètica mensual per tipus de instal·lació.

D'acord amb els diferents tipus i/o modalitats de instal·lacions que conformen els polígons, a continuació (taula 8.4) detallem els resultats de la capacitat productiva d'aquests per separat, així com la capacitat generadora del conjunt d'ells. Aquest darrer valor de producció anual d'electricitat del conjunt suma un total de 51.586.269,18 kWh/any ó 51.586 MWh/any.



ENERGIA TOTAL PRODUÏDA (kWh/any)							
Id	Polígon	INST10 (u)	INST25 (u)	INST50 (u)	INST100 (u)	Potència inst. (kW)	EP_m (kWh/any)
1	La Llana	2	2	17	22	3.130,00	4.224.621,21
2	C. Rubí-Terrassa	6	5	5	19	2.360,00	3.185.337,40
3	Molí de la Bastida	11	20	5	16	2.560,00	3.455.281,24
4	Can Rosés	18	4	13	12	2.150,00	2.901.896,36
5	Sant Genís	2	3	10	35	4.110,00	5.547.346,06
6	Can Sant Joan	0	0	1	48	4.850,00	6.546.138,29
7	Cova Solera	5	7	24	49	6.360,00	8.584.214,34
8	Can Jardí	9	8	19	49	5.580,00	7.531.433,33
9	Ca n'Alzamora	3	3	5	4	770,00	1.039.283,81
10	Pi de Vilaroch	0	0	5	61	6.350,00	8.570.717,15
TOTALS:		56	52	104	309	38.220,00	51.586.269,18

Taula 8.4. Nombre de instal·lacions i energia total produïda.

Per a poder entendre millor la magnitud del resultat obtingut a nivell de generació energètica, aquí presentem una comparativa en vers a la tecnologia eòlica. El total de 51.586 MWh generats per el conjunt d'instal·lacions projectades equivaldrien a la instal·lació de 60 aerogeneradors model 74 de 1.600 kW de la marca ECOTÈCNIA (cada un d'aquests capaç de generar un total de 867.127 kWh/any a la zona de Montmeló). Aquest valor d'energia generada per l'aerogenerador s'extreu del projecte "Comparativa entre una instal·lació fotovoltaica i una instal·lació eòlica connectades a xarxa per a una fàbrica de curtits a Mollet del Vallès" [26]

El valor afegit que la opció fotovoltaica incorpora respecte a la eòlica té a veure amb la superfície de captació i/o generació. Mentre que la opció fotovoltaica permet fer ús de superfícies ja existents (superfícies de les cobertes) i a disposició (no requereix inversió en sòl), en el cas de la eòlica sempre es requereix un emplaçament net d'obstacles, amb unes condicions de vent concretes i, en funció del propi terreny i les condicions de vent, les distàncies entre aerogeneradors poden arribar a ser considerables.

En el cas d'un parc eòlic la separació entre aerogeneradors acostuma a ser entre 5 i 9 vegades el diàmetre del rotor (en el nostre cas exemple el diàmetre del rotor es de 74 metres) en la direcció del vent dominant i entre 3 i 5 vegades el diàmetre del rotor en la direcció perpendicular als vents dominants.



9. Estudi econòmic

9.1. Introducció

Tot i els diferents problemes a l'hora de legislar el propi sistema retributiu, actualment totes les instal·lacions fotovoltaïques connectades a xarxa estan obligades a injectar la totalitat de l'energia produïda, sense poder fer ús d'aquesta a nivell d'autoconsum, i comprar després l'electricitat a les empreses comercialitzadores.

En base al marc legislatiu actual i el caire d'inversió econòmica per el que es duen a terme aquests tipus de instal·lacions, elaborem, en primer lloc, un estudi econòmic particularitzat per tipus de instal·lació considerada; i analitzem, tot seguit, els problemes que hi ha amb l'actual sistema de regulació del mercat fotovoltaic i les bases sobre les que s'està treballant de cara a establir un canvi que rellanci les possibilitats de desenvolupament del sector fotovoltaic. Si bé els resultats de l'estudi es mostren en aquest apartat, el detall d'aquests per a les diferents modalitats de instal·lació figuren en els diferents apartats de l'Annex G.

9.2. Dades econòmiques i finançament

Amb l'objectiu de poder fer l'anàlisi econòmic i financer de les diferents instal·lacions projectades, a continuació es presenta una taula resum amb les dades econòmiques que es requereixen.

Concepte	INST100	INST50	INST30	INST10
Any de compra	2012	2012	2012	2012
Potència de la instal·lació (W_p instal·lats)	100.000	50.000	30.000	10.000
Preu unitari (€/W _p)	3,24	3,25	3,25	3,39
Cost inversors (€)	21.653	10.827	6.496	2.165
Pagat per mitjans propis (%)	10%	10%	10%	10%
Comissió estudi i obertura crèdit (%)	1%	1%	1%	1%
Despeses constitució crèdit (€ fixes tipus escriptura)	24.000	10.750	6.750	3.000
Anys de crèdit	20	20	20	20
Tipus de interès de sortida (*)	3,25%	3,25%	3,25%	3,25%
Substitució inversors	SI	SI	SI	SI
Substitució inversors. Pagat mitjans propis	20%	20%	20%	20%
Substitució inversors. Comissió estudi i obertura crèdit.	2,50%	2,00%	2,00%	2,00%



Concepte	INST100	INST50	INST30	INST10
Substitució inversors. Any de crèdit	5	5	5	5
Substitució inversors. Tipus d'Interès	5,25%	5,25%	5,25%	5,25%
Substitució inversors. Anys amortitz.	10	10	10	10
Producció específica prevista en instal·lació (kWh any / kWp instal·lats)	1.350	1.350	1.350	1.350
Pèrdues de producció estimades	0,90%	0,90%	0,90%	0,90%
Preu tarifa retribució any previst (€/kWh)	0,19317	0,19317	0,19317	0,26620
Assegurança, manteniment i altres despeses fixes (€)	3.500	1.750	1.050	725
IPC estimat mitjana 30 anys	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%
Diferencial sobre IPC de increment tarifa elèctrica anys 1 - 30	-0,50%	-0,50%	-0,50%	-0,50%
Taxa descompte (tipus de producte a llarg termini a un termini similar a 30 anys)	4,00%	4,00%	4,00%	4,00%
Impost de Societats	25%	25%	25%	25%

Taula 9.1. Dades econòmiques i financeres considerades

Com podem extreure de la Taula 9.1, estimem una vida útil de les instal·lacions projectades de 30 anys.

Els pressupostos de les instal·lacions es finançen en un 90% establint el termini de devolució a 20 anys amb un interès de sortida del 3,25 %. Les despeses per concepte de comissió d'estudi i obertura de crèdit (1%) i pròpia constitució del crèdit pugen al voltant del 8% del total del valor a finançar.

Donat que els equips inversors tenen una vida útil d'uns 10 - 15 anys, considerem la substitució d'aquests un cop transcorreguts els primers 15 anys des de la posta en marxa de les instal·lacions. Les condicions de finançament d'aquests equips inversors també queden indicades en la Taula 9.1.

Els pressupostos corresponents a les diferents instal·lacions projectades els podem trobar en l'Annex F.

9.3. Ingressos, despeses i compte de resultats

9.3.1. Ingressos

Els ingressos previstos per a cada any es calculen a partir de la previsió d'energia anual a generar i la tarifa regulada a la que es ven el kWh a la companyia elèctrica.

(*) Acostuma a ser Euribor 1 any + diferencial - Pronosticar mitjana a 30 anys)



Pel que fa a la tarifa i, d'acord amb el RD 661/2007 [24], els quatre tipus de instal·lacions dissenyades formen part del tipus b.1.1 ja que fem us de l'energia solar com energia primària per a la producció d'energia elèctrica mitjançant la tecnologia fotovoltaica. Respecte a la potència nominal de cada una de les instal·lacions dissenyades, segons l'article 3 del RD 1578/2008 [5] aquestes estaran emmarcades dins dels grups:

- Tipus I.1: Instal·lacions ubicades en cobertes amb potència inferior o igual a 20 kW (Cas de la nostra instal·lació de 10 kW).
- Tipus I.2: Instal·lacions ubicades en cobertes amb potència superior a 20 kW (Cas de les nostres instal·lacions de 30, 50 i 100 kW).

Una vegada coneguts el grup i el tipus al que pertanyen cada una de les instal·lacions projectades, es poden conèixer els valors de tarifa regulada corresponents a cada una; segons la darrera publicació, els valors de les tarifes que seran d'aplicació per a la convocatòria del primer trimestre del 2012 son:

- Subtipus I.1: 26,6208 c€/kWh
- Subtipus I.2: 19,3170 c€/kWh

Si bé aquests valors seran amb els que començarem a calcular els ingressos el primer any, per a anys posteriors aplicarem un increment en el preu de venda que es calcularà a partir del valor de l'IPC menys 0,50 punts percentuals.

En el càlcul de la producció total estimada i els ingressos no només es tindrà en compte el increment del preu de venda sinó que també haurem de considerar un 0,90% de pèrdues anuals de producció.

A continuació (Taula 9.2) indiquem els valors totals de producció total i ingressos estimats per a les quatre modalitats d'instal·lacions al llarg de la vida útil de les mateixes. El detall dels ingressos any a any ho podem veure en l'Annex G; concretament en els apartats G.1, G.2, G.3 i G.4.

Tipus Instal·lació	Període	Producció total estimada (kWh/any)	Ingressos totals estimats (€)
INST100	30 anys	3.520.743	1.000.802 €
INST50	30 anys	1.760.371	500.401 €
INST30	30 anys	1.056.223	300.240 €
INST10	30 anys	352.074	137.921 €

Taula 9.2. Ingressos totals estimats en funció de la producció anual generada.



9.3.2. Despeses

A nivell de despeses d'explotació es tindran en compte les despeses derivades del propi finançament així com les despeses de manteniment i assegurança inherents a les instal·lacions (veure resultats de despeses d'explotació en la Taula 9.3). El detall de les despeses totals any a any també ho podem consultar en l'Annex G.

QUADRE RESUM DESPESES D'EXPLOTACIÓ				
	INST100	INST50	INST30	INST10
Interessos crèdit concedit (€)	109.630	54.957	32.983	11.451
Despeses constitució crèdit (€)	2.919	1.463	878	305
Escriptura crèdit (€)	24.000	10.750	6.750	3.000
Interessos crèdit substitució inversors (€)	4.395	2.198	1.319	440
Despeses constitució crèdit substitució inversors (€)	675	270	162	54
Despeses fixes (manteniment i assegurança) (€)	166.514	83.257	49.954	34.492
Despeses TOTALS (€)	308.133 €	152.895 €	92.046 €	49.742 €

Taula 9.3. Resum de despeses de finançament, manteniment i assegurança.

9.3.3. Compte de resultats

A continuació indiquem els resultats generals de les comptes de resultats per a cada tipus de instal·lació (Taula 9.4). Al igual que amb els ingressos i despeses, en l'Annex G es poden consultar el detall dels càlculs any a any.

QUADRE RESUM COMPTE DE RESULTATS				
	INST100	INST50	INST30	INST10
Amortització Instal·lació (€)	324.331	162.586	97.577	33.878
Amortitz.substitució inversors (€)	33.735	16.867	10.120	3.374
Despeses explotació (€)	308.133	152.895	92.046	49.742
Total despeses (€)	669.199	332.349	199.743	86.994
Total Ingressos (€)	1.000.802	500.401	300.240	137.921
Benefici (€)	334.603	168.052	100.497	50.927



QUADRE RESUM COMPTE DE RESULTATS				
	INST100	INST50	INST30	INST10
Rendibilitat abans d'impostos (%)	3,44%	3,45%	3,43%	5,01%
Quota líquida impostos (€)	83.651	42.013	25.124	12.732
Benefici després impostos (€)	250.952	126.039	75.373	38.195
Rendibilitat financera (%)	34,39%	34,45%	34,33%	50,11%

Taula 9.4. Resum de compte de resultats per a les diferents instal·lacions

9.4. Rendibilitat del projecte

9.4.1 Valor actual net i taxa interna de retorn

Un dels criteris més senzills per a avaluar la rendibilitat d'una inversió tenint en compte el valor temporal del diner consisteix en calcular el valor present dels fluxos de caixa futurs que generarà el projecte, descomptats a un cert tipus d'interès o taxa de descompte i comparar-los amb el import inicial de la inversió.

Si el sumatori dels fluxos de caixa actualitzats en l'horitzó temporal escollit per a avaluar el projecte, resulta superior al valor de la inversió inicial, aleshores el projecte es considera rendible en valors nets. Després d'això cada inversor haurà d'avaluar si interessa o no dur a terme la inversió doncs entren en joc molts altres factors com el risc que està disposat a acceptar, si busca liquiditat, horitzó temporal (llarg, mig o curt termini), etc.

Perquè els projectes siguin rendibles, el VAN ha de ser superior a zero, el qual significa que recuperem la inversió inicial i s'obté més capital que si hagués estat col·locat en renda fixa.

La fórmula per a calcular el VAN és la següent (veure Eq. 9.1):

$$VAN = -I + \sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{(1+r)^n} \quad (\text{Eq. 9.1})$$

On I és la inversió, Q_n el flux de caixa de l'any n , r la taxa d'interès amb la qual es compara, i N el nombre d'anys de la inversió.

La taxa interna de retorn, TIR, es el tipus d'interès en el que el VAN és zero. Si el valor d'aquesta taxa es alta, el projecte es rendible doncs suposa un retorn de la inversió equiparable a un tipus d'interès alt.



Els valors del VAN i el TIR calculats per als projectes corresponents a les diferents instal·lacions projectades es mostren en la Taula 9.5:

Concepte	INST100	INST50	INST30	INST10
VAN (€)	107.492	52.117	31.034	18.157
TIR (%)	11,92%	10,89%	10,77%	16,36%

Taula 9.5. Valors de VAN i TIR per a les diferents instal·lacions

Com podem veure, el valor del VAN es positiu en tots els casos, el que vol dir que el sumatori dels fluxos de caixa actualitzats en l'horitzó temporal escollit és superior al valor de la inversió inicial i, en conseqüència, les diferents modalitats d'instal·lacions projectades són rendibles. Per altra costat, el fet que el valor del TIR també sigui un valor percentual elevat va a favor doncs suposa un retorn de la inversió equiparable a un tipus d'interès alts.

9.4.2 Pay-back

Part important d'aquest estudi de viabilitat econòmica es determinar el període de retorn del capital invertit de les diferents instal·lacions solars fotovoltaica. És a dir, el nombre d'anys que hauran de transcórrer des del inici de la vida útil del sistema per tal que l'estalvi econòmic generat compensi la inversió inicial.

A continuació (Taula 9.6) s'indiquen els valors en temps de retorn de les inversions per a cada tipus de instal·lacions projectades. L'evolució del saldo efectiu al llarg dels 30 anys per a les diferents modalitats d'instal·lacions es poden veure també en l'Annex G, concretament en els apartats G.13, G.14, G.15, G.16 i G.17.

	INST100	INST50	INST30	INST10
Període de retorn de la inversió (anys)	11 anys	15 anys	18 anys	8 anys

Taula 9.6. Període de retorn de la inversió per a les diferents instal·lacions



10. Estudi mediambiental

La creixent preocupació per les conseqüències ambientals, socials i econòmiques del canvi climàtic, i els compromisos dels acords del Protocol de Kyoto, i el fet que la producció i consum d'energia són els principals responsables de les emissions de gasos d'efecte hivernacle, situen el sector energètic com a sector clau pel desenvolupament de les energies renovables i la seva eficiència.

Dels sis grups de gasos d'efecte hivernacle contemplats en el Protocol de Kyoto, el CO₂ representa les tres quartes parts del total, i més del 90% d'aquest gas és d'origen energètic. Per aquesta raó son de gran importància les polítiques capaces de limitar les emissions de CO₂ per qualsevol estratègia de limitació de gasos d'efecte hivernacle.

Així com per a algun tipus de gasos com el SO₂ hi ha tractaments de final de procés relativament ràpids que aconsegueixen neutralitzar l'emissió o en el cas del plom, en els carburants, aquest s'ha aconseguit extingir, amb les emissions de CO₂ no passa el mateix doncs aquestes estan directament relacionades amb l'ús de combustibles fòssils i a dia d'avui encara no hi ha cap tecnologia viable capaç d'absorbir-les.

Es per aquest motiu que l'única manera d'evitar emissions de CO₂ és a través de la modificació d'estructures, processos, equips i comportaments relacionats amb la utilització de l'energia. La llarga vida útil de les inversions en el sector energètic fa que les estratègies relatives al CO₂ tinguin uns terminis d'aplicació molt més llargs que en altres problemes ambientals. És aquí on la planificació del desenvolupament a llarg termini de les energies renovables juguen un paper decisiu.

Per altra banda, l'energia solar fotovoltaica tot i ser, amb diferència, més neta que qualsevol de les energies no renovables també produeix impactes mediambientals, bàsicament durant el seu procés de fabricació. Malgrat que durant la vida útil de les plaques solars no es produeixi cap mena d'impacte ambientals, durant el seu procés de fabricació, sí que se'n emeten.

Els principals impactes que es poden considerar, per la seva naturalesa són:

- Químics: abocaments de sòlids, líquids i gasos.
- Físics: tèrmics, climàtics, acústics i visuals.
- Biològics: impactes sobre l'ecosistema i la salut humana.

Els materials que s'utilitzen o que s'han proposat per la fabricació de cèl·lules solars són variats: silici (cristal·litzat i amorf) , germani, seleni, AsGa, seleniurs de coure (SeCu i Se₂CuGa), sulfurs diversos i òxids de coure entre d'altres.



En la fabricació d'aquests materials es produeixen emissions de TeCd, B₂H₆, BCl₃, H₂, HF, SeH₂, SH₂, CH₄, PH₃, POCl₃, P₂O₅, FH₃, F₄Si, P₂Zn₃, entre d'altres i vapors metàl·lics, alguns tòxics.

Per tant, la fabricació de plaques/mòduls fotovoltaics és un procés complicat que necessita una gran diversitat de matèries primeres les quals no es troben en estat pur i en molts casos s'han de fondre (cas del silici) i fer créixer per a formar un monocristall, etapa en la que s'inverteix molt temps i molta energia.

10.1.Reducció emissions gasos

Per a poder dur a terme el càlcul d'emissions, s'agafen els factors d'emissions derivades del consum elèctric en el sistema de producció nacional per a l'any 2012 (mes de març). Aquests valors els facilita el bolletí que l'Observatori de l'Electricitat de ADENA-WWF [25] elabora amb dades oficials.

En aquest cas, la reducció d'emissions contaminants per cada kWh produït per energia solar és de: 0,247 kg CO₂ / kWh, 0,534 g SO₂ / kWh i 0,375 g NO₂ / kWh.

Així, les diferents instal·lacions considerades en aquest projecte provocaran de forma independent les següents reduccions d'emissions en el primer any (veure resultats en la Taula 10.1):

Instal·lació	E _g (kWh/any)	Emissions CO ₂ (kg)	Emissions SO ₂ (kg)	Emissions NO ₂ (kg)
INST100	134.971,92	33.338,07	72,08	50,61
INST50	67.485.96	16.669,03	36,04	25,31
INST30	40.491,58	10.001,42	21,62	15,18
INST10	13.497,19	3.333,81	7,21	5,06

Taula 10.1. Resum de emissions per tipus de instal·lació

Un cop conegudes les reduccions per emissions en funció del tipus de instal·lació, estem en condicions de conèixer els nivells de reducció d'emissions que es poden assolir en el primer any tant a nivell de polígon com en el conjunt dels deu polígons sotmesos a estudi. El resultat general queda reflectit en la següent Taula 10.2:



Polígon	Superf. (m ²)	INST 10	INST 30	INST 50	INST 100	Emissions CO ₂ (t)	Emissions SO ₂ (kg)	Emissions NO ₂ (kg)
La Llana	148.885,75	2	2	17	22	1.043,48	2.255,95	1.584,23
Crta. Rubí a Terrassa	115.766,95	6	5	5	19	786,78	1.700,97	1.194,50
Molí de la Bastida	112.808,80	11	20	5	16	853,45	1.845,12	1.295,73
Can Rosés	103.363,60	18	4	13	12	716,77	1.549,61	1.088,21
Sant Genís	174.753,15	2	3	10	35	1.370,19	2.962,28	2.080,25
Can Sant Joan	192.320,80	0	0	1	48	1.616,90	3.495,64	2.454,80
Cova Solera	304.064,15	5	7	24	49	2.120,30	4.583,97	3.219,08
Can Jardí	265.632,25	9	8	19	43	1.860,26	4.021,79	2.824,29
Ca n'Alzamora	38.269,40	3	3	5	4	256,70	554,98	389,73
Pi de Vilaroch (Rubí Sud)	278.009,55	0	0	5	61	2.116,97	4.576,76	3.214,02
TOTALS:						12.741,81	27.547,07	19.344,85

Taula 10.2. Resum de emissions parcials per polígons i globals del conjunt d'aquests

Per al conjunt de instal·lacions considerades en aquest projecte, el càlcul d'emissions de gasos que deixarem d'emetre a l'atmosfera anualment per generació d'energia elèctrica resultarà: 12.741,81 t de CO₂, 27.547,07 kg de SO₂ i 19.344,85 kg de NO₂.

En darrera instància podem estimar el valor global d'emissions en el període d'utilització i/o vida útil (30 anys) de les diferents instal·lacions. Aquests resultats es mostren en la taula 10.3 a continuació:

Tipus instal·lació	E _p (kWh/any)	Nº Instal. (u)	Emiss. CO ₂ (t)	Emiss. SO ₂ (kg)	Emiss. NO ₂ (kg)
INST100	3.520.743	309	268.713,67	580.943,72	407.966,10
INST50	1.760.371	104	45.220,41	97.763,96	68.654,47
INST30	1.056.223	52	13.566,13	29.329,20	20.596,35



Tipus instal·lació	E _p (kWh/any)	Nº Instal. (u)	Emiss. CO ₂ (t)	Emiss. SO ₂ (kg)	Emiss. NO ₂ (kg)
INST10	352.074	56	4.869,89	10.528,42	7.393,55
TOTAL	-	-	332.370,1	718.565,30	504.610,47

Taula 10.3. Resum de emissions parcials per tipus de instal·lació i globals en els 30 anys de vida útil de les instal·lacions

Així, en resum, totes les instal·lacions projectades s'estima que puguin reduir les emissions en tot el període de vida útil considerat (30 anys) en 332.370,1 t de CO₂, 718,57 t de SO₂ i 504,61 t de NO₂.



Conclusions

En el present projecte s'ha realitzat el disseny de quatre modalitats diferents de instal·lacions fotovoltaïques (mateixa tecnologia de capa fina amb silici amorf) amb l'objectiu de projectar-les sobre les cobertes dels diferents polígons industrials de Rubí i conèixer, d'aquesta forma, la capacitat productiva i/o d'injecció d'energia elèctrica a la xarxa.

Els 51.586.269,18 kWh/any d'energia elèctrica generada i injectada a la xarxa provinents de l'energia fotovoltaïca i les 332.370,1 t de CO₂ que es deixarien d'emetre a l'atmosfera son, sense dubte, valors que ratifiquen un cop més el potencial de la tecnologia en qüestió i els beneficis que ens brinda (no només mediambientals, si no també socials, econòmics, estratègics i culturals)

A nivell econòmic, tot i el continuat descens del valor de les primes per a la injecció d'energia elèctrica a la xarxa, la maduresa de la tecnologia permet mantenir la rendibilitat econòmica de les diferents inversions. Per a les quatre modalitats/inversions els valors de VAN i TIR son positius i elevats; això significa que es recuperen les inversions inicials i s'obté més capital que en el cas d'optar per un producte a renda fixa. Si bé el valor del TIR es manté entre un 10% i un 12% (valors considerats alts) per a les instal·lacions de 100 kW, 50kW i 30 kW, en el cas de la instal·lació de 10 kW aquest es, inclús, superior (> 16%); això es deu principalment al valor de venda del kWh i/o prima (26,6208 c€/kWh), notablement superior al dels altres tres casos i/o modalitats estudiades (19,3170 c€/kWh).

A nivell de retorn de la inversió també podem dir que els resultats son positius en la majoria dels casos doncs tractant-se de instal·lacions que requereixen una forta inversió al inici, el fet que tinguin una vida útil de 25 - 30 anys, ens permet recuperar el capital en 11, 15, 18 i 8 anys depenent del tipus de modalitat (100 kW, 50 kW, 30 kW i 10 kW).

Si bé a nivell tècnic i econòmic les diferents instal·lacions projectades son perfectament viables i rendibles, hi ha altres factors que juguen un paper importantíssim a l'hora de poder arribar a implementar aquest projecte, si l'entenem, en el seu conjunt global. Per un costat tenim l'actual crisi econòmica i financera que dificulta moltíssim la obtenció de finançament i per l'altra banda tenim la incertesa del camí que seguirà la legislació de les energies renovables i, en particular, la fotovoltaïca.

Donat que la tendència, pel que fa a primes i/o preu de venda del kWh a xarxa, sembla seguirà sent a la baixa amb l'objectiu d'eliminar l'actual dèficit tarifari, però a la vegada s'han d'assolir els objectius de reducció d'emissions signats en tractats com Kyoto, es veu en l'autoconsum la possibilitat de donar sortida, d'una forma estable, a una tecnologia actualment molt madura, contrastada i viable tècnicament i molt eficaç des del punt de vista mediambiental.



Agraïments

En primer lloc m'agradaria agrair al professor Emili Hernández per la direcció del projecte i, en particular, pel fet d'entendre bé les diferents situacions i/o escenaris que s'han anat succeint en el temps des de que vam decidir optar pel present projecte.

En segon lloc també m'agradaria donar les gràcies a l'Àngels Tornero com a part important i representativa de l'Associació del Pla Estratègic de la ciutat de Rubí i que ens ha facilitat informació rellevant de la ciutat i, en particular, dels diferents polígons i/o àrees d'activitat econòmica.

No voldria deixar d'agrair també la col·laboració de la Marta Morera del Servei d'Acció Ambiental de l'Ajuntament de Rubí. La informació facilitada per la seva part també ha estat de gran utilitat a l'hora de desenvolupar aquest treball.

Pel que fa a la part tècnica, m'agradaria també agrair a l'Antonio Herrero d'Automatismes Anthega S.L. totes les bones explicacions donades i que ens ha fet entendre millor la tecnologia fotovoltaica des del punt de vista més pràctic i/o executiu.

Per acabar i, donat que sempre donen el millor recolzament quan més es necessita, no vull oblidar-me de familiars i amics.



Bibliografia

Referències bibliogràfiques

- [1] Pla d'Energies Renovables 2005-2010 – Institut per a la Diversificació i Estalvi d'Energia 2005.
- [2] Reial decret llei 6/2009, de 30 d'abril, BOE 111, Secció I, Pàg. 39404.
- [3] Reial decret llei 14/2010, de 23 de desembre, BOE 312, Secció I, Pàg. 106386.
- [4] Reial Decret llei 1/2012, de 27 de gener, BOE 24, Documento BOE-A-2012-1310.
- [5] Reial Decret 1578/2008, de 26 de Setembre, BOE 234, Document BOE-A-2008-15595, Pàg. 39117 a 39125.
- [6] Projecte de Reial Decret pel que s'estableix la regulació de les condicions administratives, tècniques i econòmiques de la modalitat de subministrament d'energia elèctrica amb balanç net. Ministeri de Indústria, turisme i comerç. 18 de Novembre 2011.
- [7] Aplicació Web del Mapa d'Àrees Industrials de Catalunya
[<http://atlantis.uab.cat/UPIC/visualitzador.jsp>]
- [8] Norma IEC60670, “*Boxes and enclosures for electrical accessories for household and similar fixed electrical installations. Part 1: General requirements*”, 1998.
- [9] ICT-BT-19: Instal·lacions interiors o receptores. Prescripcions generals. Ministeri de Ciència i Tecnologia, Suplement del BOE núm. 224, Dimecres 18 Setembre 2002, Pàg. 95
- [10] ICT-BT-21: Instal·lacions interiors o receptores. Tubs i canals protectores. Ministeri de Ciència i Tecnologia, Suplement del BOE núm. 224, Dimecres 18 Setembre 2002, Pàg. 106
- [11] UNE 20460-5-52: Instal·lacions elèctriques en edificis. Part 5: selecció i instal·lació de materials elèctrics. Capítol 52: canalitzacions. Secció 523: Intensitats admissibles en sistemes de conducció de cables, Novembre 2004.
- [12] ICT-BT-20: Instal·lacions interiors o receptores. Sistemes de instal·lació. Ministeri de Ciència i Tecnologia, Suplement del BOE núm. 224, Dimecres 18 Setembre 2002, Pàg. 101
- [13] ICT-BT-18: Instal·lacions de posta a terra. Ministeri de Ciència i Tecnologia, Suplement del BOE núm. 224, Dimecres 18 Setembre 2002, Pàg. 89



- [14] IDAE. Plec de Condicions Tècniques de Instal·lacions Connectades a Xarxa. PCT-C-REV-Juliol 2011.
- [15] ICT-BT-07: Xarxes subterrànies per a distribució en baixa tensió. Ministeri de Ciència i Tecnologia, Suplement del BOE núm. 224, Dimecres 18 Setembre 2002, Pàg. 48.
- [16] ICT-BT-22: Instal·lacions interiors o receptores. Protecció contra sobreintensitats. Ministeri de Ciència i Tecnologia, Suplement del BOE núm. 224, Dimecres 18 Setembre 2002, Pàg. 113.
- [17] UNE 60364-5-534. Instal·lacions elèctriques de baixa tensió. Part 5-53: Selecció i instal·lació dels equips elèctrics. Seccionament, maniobra i comandament. Capítol 534: Dispositius per a la protecció contra sobretensions. Data edició: 22-07-2009
- [18] IEC15100. International Electrotechnical Commission
- [19] UTE: Norma de instal·lacions, NO-UTE-OR-0001/02, 2001-05.
- [20] Reial Decret 1663/2000, de 29 de setembre, BOE núm. 235, Pàg. 33511.
- [21] ICT-BT-16: Instal·lacions d'enllaç. Comptadors: Ubicació i sistemes de instal·lació. Ministeri de Ciència i Tecnologia, Suplement del BOE núm. 224, Dimecres 18 Setembre 2002, Pàg. 83.
- [22] Reial Decret 875/1984, de 28 de març, BOE 12 de maig 1984, núm 114/1984, Pàg. 13150.
- [23] EUROPEAN COMMISSION. PVGIS. Solar Irradiation Data. Disseny web Thomas Huld i Marcel Suri. PVGIS © European Communities, 2001 – 2007. [<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps/radday.php?lang=es&map=europe>].
- [24] Reial Decret 661/2007, de 25 de maig, BOE núm. 126 de 26/05/2007, Pàg. 22846 a 22886. Ref. BOE-A-2007-10556.
- [25] WWF/ADENA (www.wwf.es). Observatori de l'electricitat. Març 2012 [http://awsassets.wwf.es/downloads/oe_marzo_2012_20042012.pdf].
- [26] Projecte Final de Carrera per a la Titulació d'Enginyeria Tècnica Industrial: *"Comparativa entre una instal·lació fotovoltaica i una instal·lació eòlica connectades a xarxa per a una fàbrica de curtius a Mollet del Vallès"*. Universitat de Lleida, Octubre 2007, Autors: *Neus Borràs Lloret i Rosa Dalmases Deltell*.

